

FACULTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

Année scolaire 1910-1911 — N° 68.

L'ULTRA-VIOLET

SES PROPRIÉTÉS - SES APPLICATIONS

THÈSE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

Et soutenue publiquement le 24 décembre 1910

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR EN MÉDECINE

PAR

Augustin FOUILLIT

Né le 20 septembre 1884, à Saint-Pal-de-Murs (Haute-Loire).



MALOINE, ÉDITEUR

LYON

Rue de la Charité, 6

PARIS

Rue de l'École-de-Médecine, 23

1910

L'ULTRA-VIOLET

SES PROPRIÉTÉS — SES APPLICATIONS



Digitized by the Internet Archive
in 2026

FACULTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

Année scolaire 1910-1911 — N° 68.

L'ULTRA-VIOLET

SES PROPRIÉTÉS - SES APPLICATIONS

THÈSE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

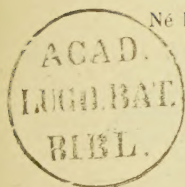
Et soutenue publiquement le 24 décembre 1910

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR EN MÉDECINE

PAR

Augustin FOUILLIT

Né le 20 septembre 1884, à Saint-Pal-de-Murs (Haute-Loire).



MALOINE, ÉDITEUR

LYON

Rue de la Charité, 6

PARIS

Rue de l'École-de-Médecine, 23

1910

PERSONNEL DE LA FACULTÉ

MM. HUGOUNENQ. DOYEN.
J. COURMONT ASSESSEUR.

PROFESSEURS HONORAIRES

MM. CHAUEAU, AUGAGNEUR, MONOYER, SOULIER, TRIPIER, CAZENEUVE, LÉPINE

PROFESSEURS

Cliniques médicales	MM. TEISSIER.
Cliniques chirurgicales.	ROQUE.
Clinique obstétricale et Accouchements.	BARD.
Clinique ophtalmologique	PONCET.
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques.	JABOULAY.
Clinique des maladies mentales	FABRE.
Clinique des maladies des enfants	ROLLET.
Clinique des maladies des femmes	NICOLAS.
Physique médicale.	PIERRET.
Chimie médicale et pharmaceutique	WEILL.
Chimie organique et Toxicologie.	POLLOSSON (A.).
Matière médicale et Botanique.	CLUZET.
Parasitologie et histoire naturelle médicale	HUGOUNENQ.
Anatomie.	MOREL.
Anatomie générale et Histologie.	BEAUVISAGE.
Physiologie	GUIART.
Pathologie interne.	TESTUT.
Pathologie et Thérapeutique générales.	RENAUT.
Anatomie pathologique	MORAT.
Médecine opératoire.	COLLET.
Médecine expérimentale et comparée.	COURMONT (P.)
Médecine légale.	PAVIOT.
Hygiène.	POLLOSSON (M.).
Thérapeutique.	ARLOING.
Pharmacologie	LACASSAGNE.
	COURMONT (J.).
	PIC.
	FLORENCE.

PROFESSEURS ADJOINTS

Physiologie, cours complémentaire.	MM. DOYON.
Maladies des oreilles, du nez et du larynx	LANNOIS.
Pathologie externe	VALLAS.
Maladies des voies urinaires.	ROCHET.

CHARGÉS DE COURS COMPLÉMENTAIRES

Chimie minérale	MM. BARRAL,	agrégé.
Propédeutique chirurgicale	BERARD,	—
Propédeutique de gynécologie	CONDAMIN,	—
Chirurgie infantile.	NOYE-JOSSERAND,	—
Accouchements	COMMANDEUR,	—
Matière médicale	MOREAU,	—
Embryologie.	REGAUD,	—
Anatomie topographique.	PATEL,	—
Botanique	BRETIN.	—

AGRÉGÉS

MM.	MM.	MM.	MM.
SAMBUC.	J. LEPINE.	LATARJET,	MOURIQUAND.
REGAUD.	LESIEUR.	BRETIN.	ARLOING (F.).
COMMANDEUR.	MARTIN (Et.).	LERICHE.	GUILLEMARD.
GAYET.	LAROYENNE.	THEVENOT.	
NEVEU-LEMAIRE.	VORON.	TAVERNIER.	
PATEL.	NOGIER.	CADE.	

M. BAYLE, Secrétaire.

EXAMINATEURS DE LA THÈSE

MM. J. COURMONT, *Président* ; ARLOING, *Assesseur* ;
MM. LESIEUR et NOGIER, *Agrégés*.

La Faculté de médecine de Lyon déclare que les opinions émises dans les dissertations qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner ni approbation ni improbation.

A MON PÈRE, A MA MÈRE

Qui m'ont toujours prodigué la plus
tendre affection et plus grande solli-
citude.

A MES ONCLES

Qui m'ont constamment encouragé
dans mes études.

A MON FRÈRE ET A MA SŒUR

MEIS ET AMICIS

A notre éminent Maître

Monsieur le Professeur J. COURMONT

Professeur d'hygiène à la Faculté de médecine de Lyon.

Dont nous avons toujours suivi avec le plus vif intérêt le magistral enseignement, et à qui nous sommes reconnaissant d'avoir bien voulu nous faire l'insigne honneur de présider cette thèse.

A Monsieur le Professeur agrégé TH. NOGIER

Qui, avec bienveillance, a mis à notre disposition toute sa compétence en la matière. Il ne nous a épargné ni son temps, ni sa peine, et a réservé à nos nombreuses demandes l'accueil le plus sympathique. Nous sommes heureux de lui témoigner ici notre reconnaissance la plus profonde.

A Monsieur le Docteur A. ROCHAIX

Chef des travaux pratiques d'hygiène.

Qui nous a inspiré le sujet de ce travail et à qui nous exprimons nos sincères remerciements pour les nombreux documents et conseils qu'ils nous a donnés.

INTRODUCTION

Depuis deux ans environ, la question de l'ultra-violet a pris une importance extraordinairement considérable. C'est que, en effet, ces rayons se sont soudain manifestés comme des agents merveilleux, capables de produire des effets variés autant qu'intenses. Aussi, l'ultra-violet qui, jusqu'alors, n'intéressait guère que physiciens et thérapeutes, a envahi la plupart des autres branches de la science : botanistes, zoologistes, hygiénistes et chimistes se sont, dans un bel élan, précipités dessus pour en expérimenter l'action.

Le point de départ de cette évolution rapide est marqué par l'apparition d'une source presque idéale d'ultra-violet, la lampe en quartz à vapeurs de mercure.

L'arc au mercure a été découvert en 1892 par Arons. Quelques années plus tard, Cooper-Hewitt le faisait passer dans le domaine commercial, où il connut quelque temps de vogue, grâce à son étrange intensité lumineuse en rapport avec sa faible dépense d'énergie électrique. Toutefois, ce n'est qu'en 1905 que Herçœus pour les uns, Küch pour d'autres, lui firent subir sa modification la plus importante, celle qui devait consacrer l'avènement de ses succès sans bornes, et qui consista simplement à remplacer l'enveloppe de verre par un tube de quartz, substance perméable aux rayons les plus efficaces.

Les résultats ne tardèrent pas à s'affirmer. Dès 1908, MM. Th. Nogier et Thévenot constataient l'action bactéricide intense de cette source lumineuse. L'année suivante, dans une retentissante communication à l'Académie des sciences, M. le professeur J. Courmont et M. le Dr Th. Nogier publiaient les résultats merveilleux et inattendus de l'application de cette action à l'hygiène. Depuis les travaux se sont multipliés dans toutes les parties de la science.

Cependant, aujourd'hui encore, la littérature de l'ultra-violet est très fragmentée, uniquement composée de publications parues dans diverses revues. C'est pourquoi il nous a paru intéressant de réunir dans ce travail, en nous efforçant de les classer le mieux possible, les divers lambeaux épars de cette portion de la science des radiations.

Nous diviserons cet ouvrage en cinq parties :

La première, purement physique, comprendra quelques considérations générales sur le spectre solaire et l'étude de l'ultra-violet au point de vue physique.

Dans la deuxième, nous envisagerons l'action de ces radiations sur les divers corps chimiques.

La troisième traitera de l'action des rayons ultra-violets sur les végétaux.

Dans la quatrième, nous aurons en vue la façon dont réagissent les animaux et, en particulier, les téguments de l'homme vis-à-vis de ces curieuses radiations.

Enfin, dans la cinquième, nous verrons rapidement quelles applications pratiques ont reçues ces propriétés.

PREMIÈRE PARTIE

ÉTUDE PHYSIQUE DE L'ULTRA-VIOLET

CHAPITRE PREMIER

Généralités sur le spectre solaire.

ARTICLE I. — *Le spectre visible.*

La lumière blanche n'est pas simple.

La lumière blanche du soleil, ainsi que notre œil la perçoit, n'est que la résultante, la superposition de sept couleurs fondamentales, dite encore simples ou monochromatiques, qui se succèdent dans un ordre défini et constant.

C'est à Newton que revient l'honneur d'avoir découvert ce phénomène. Ce savant physicien cherchant à perfectionner les objectifs employés à la construction des lunettes, s'aperçut « que ce qui avait empêché qu'on ne perfectionnât les télescopes n'était pas, comme on l'avait cru, le défaut de la figure des verres, mais plutôt le mélange hétérogène des rayons différemment réfrangibles » (77).

Faisant alors pénétrer dans une chambre obscure un

rayon de soleil qu'il reçut sur un prisme bien transparent et bien homogène, il constata que le faisceau lumineux était dévié vers la base du prisme, qu'il était étalé, que sa partie supérieure était rouge de feu, tandis que le bord inférieur était d'un violet très pur. Entre ces deux couleurs extrêmes se succédaient sans solution de continuité apparente une infinité de nuances. Cependant, malgré le passage insensible d'une teinte à l'autre, on pouvait distinguer quelques couleurs principales, superposées toujours dans un ordre immuable. Elles étaient au nombre de sept, et se succédaient ainsi, en allant de l'arête à la base du prisme : rouge, orangé, jaune, vert, bleu, indigo et violet.

D'autre part, en faisant tomber sur un deuxième prisme chacune des sept couleurs du spectre, on la voyait déviée, mais elle conservait la même teinte.

La lumière blanche du soleil résulte donc de la synthèse d'un nombre infini de rayons possédant chacun une couleur propre.

Nature des rayons lumineux.

Pour Newton le mouvement lumineux appartenait à une substance d'une ténuité extrême projetée dans toutes les directions et avec une prodigieuse vitesse par les corps lumineux. La couleur résultait de la dimension des particules. Tel est, dans son principe, le système de l'émission édifié par Newton.

Malheureusement, la théorie de l'émission ne rendait pas compte de tous les phénomènes lumineux. Aussi ne tarda-t-elle point à être battue en brèche. Euler et Huyghens furent ses premiers détracteurs; ils reprirent les

idées de Descartes qui, cinquante ans avant Newton, avait pressenti l'éther et le mouvement vibratoire de la lumière. Aussi, au système de l'émission, fit bientôt place le système des ondulations.

Cette théorie mécanique conçoit la lumière comme le résultat de vibrations se communiquant de proche en proche tout comme les ondes sonores produites par la vibration d'un corps dans l'air. La seule différence entre le son et la lumière réside seulement dans la rapidité de la vibration, qui est extrêmement rapide pour la lumière et infiniment plus lente pour le son, et dans le milieu conducteur des ondes qui est l'air pour le son, et l'éther cosmique pour la lumière.

La théorie de la nature vibratoire des radiations a survécu. Elle rend, en effet, compte de la plupart des phénomènes lumineux. De plus, elle a été féconde puisqu'elle a servi de base à de nouvelles théories qui ont pour but d'apparenter la lumière et l'électricité. Nous faisons allusion ici à la théorie de Maxwell qui voit, dans la lumière et l'électricité, sinon une même force, du moins deux modalités très voisines d'une même énergie.

Comment caractériser une radiation lumineuse ?

Chaque radiation de l'énergie lumineuse a ses caractères propres qui permettent de l'individualiser. Ces caractères sont la couleur, l'indice de réfraction, la longueur d'onde, le nombre de vibrations par seconde, et enfin les qualités de la radiation. Nous allons étudier sommairement chacun de ces caractères.

α) *La couleur.* — L'expérience de Newton nous a montré que la lumière blanche du soleil était constituée par la

superposition d'une infinité de radiations se succédant dans un ordre déterminé et immuable et surtout possédant une couleur propre. Notre œil arrive à percevoir sept nuances différentes. Toutefois, il est infiniment probable qu'il existe une multitude d'autres nuances auxquelles il est insensible. Et cela est d'autant plus vraisemblable que ce même organe sensoriel n'arrive pas à saisir une solution de continuité entre deux couleurs consécutives perçues par lui. Quoi qu'il en soit, la couleur des radiations n'est qu'un caractère de valeur minime, parce que, nous le verrons un peu plus loin, il existe des radiations qui n'impressionnent pas notre rétine.

β) *L'indice de réfraction*. — A ce point de vue encore, l'expérience de Newton est des plus instructives. Elle nous apprend, en effet, que la réfrangibilité augmente du rouge au violet. C'est là un caractère un peu plus important.

γ) *La longueur d'onde*. — On entend par là l'espace parcouru par les ondes lumineuses pendant la durée d'une période, autrement dit pendant la durée d'une vibration complète (aller et retour). On la désigne par la lettre λ .

Si l'on désigne par V la distance sur laquelle le mouvement s'est propagé pendant l'unité de temps et par T la durée d'une période on aura la relation :

$$\lambda = VT$$

Les longueurs d'onde sont mesurées au moyen de méthodes reposant sur les phénomènes de diffraction et des interférences.

La longueur d'onde des radiations lumineuses est très courte. Aussi a-t-on dû choisir comme unité le micron,

que l'on représente par la lettre μ , et qui correspond à la millième partie du millimètre. La valeur de λ va en diminuant du rouge au violet. La longueur d'onde des mouvements vibratoires correspondant au milieu du rouge est égale à 0 μ 700; celle des radiations du violet pur ne vaut plus que 0 μ 405.

Disons tout de suite que la longueur d'onde constitue un caractère de première valeur. Car c'est elle qui nous permet de distinguer les radiations invisibles pour notre œil.

δ) *Le nombre de vibrations par seconde.* — Le nombre de vibrations par seconde de chaque radiation lumineuse est encore un bon caractère distinctif. Il peut être représenté par la relation suivante :

$$n = \frac{V}{\lambda}$$

V représentant l'espace parcouru pendant l'unité de temps et λ la longueur d'onde ou l'espace parcouru pendant la durée d'une période.

Il est évident que plus λ sera petit, plus n sera grand. En conséquence, contrairement à la valeur de λ , celle de n va en augmentant du rouge au violet. C'est ainsi que lorsque $\lambda = 700$ (milieu du rouge), $n = 428$ (trillions), et quand $\lambda = 405$ (milieu du violet pur) $n = 742$ (trillions).

L'on pourrait donc, à la rigueur, pour désigner les radiations lumineuses, employer indifféremment soit leur longueur d'onde, soit leur nombre de vibrations par seconde. Néanmoins, l'usage à prévalu en faveur de λ .

ε) *Les qualités de la radiation lumineuse du spectre visible.* — On peut attribuer à toute radiation, dont la na-

ture est celle d'un mouvement vibratoire lumineux, trois qualités : calorifique, lumineuse et actinique ou chimique.

La qualité lumineuse intéresse surtout l'optique; c'est grâce à elle que l'on a pu faire l'étude des lois de la propagation et déterminer les principales propriétés du mouvement vibratoire lumineux. Elle est directement constatée par notre œil.

En ce qui concerne la qualité calorifique de la radiation, notre sensibilité cutanée suffit à nous renseigner sur elle, quand il s'agit de la constater sur l'ensemble des radiations émanant d'une source lumineuse intense, telle que le soleil, l'arc voltaïque ou n'importe quelle autre source lumineuse ordinaire. Mais si toutefois nous voulons la chercher sur une couleur simple ou monochromatique résultant de la décomposition par le prisme d'un mince faisceau lumineux, nos sens deviennent alors impuissants à nous renseigner. Force nous sera de recourir à des moyens d'investigation plus subtils.

Les principaux dispositifs répondant à ces besoins sont le bolomètre et le microradiomètre. Le principe du bolomètre est le suivant : la radiation est reçue sur un fil très mince, de très faible masse, par conséquent; si la radiation a une certaine propriété calorifique, ce fil s'échauffe, sa résistance électrique se modifie. C'est cette modification de la résistance que l'on mesure.

Le microradiomètre consiste en un fil soudé à un autre fil de nature différente; si la radiation qui tombe sur la soudure produit une force électromotrice constatable au galvanomètre, on dit qu'elle possède la propriété calorifique. Le microradiomètre est un appareil thermo-électrique très sensible.

Enfin, quant à la propriété ou qualité actinique des radiations du spectre visible, on peut la déceler de diverses façons. Le moyen à la fois le plus commun et le plus sensible est certainement la plaque photographique: les rayons lumineux qui possèdent la qualité chimique à un certain degré ont, en effet, la propriété de réduire les sels d'argent. Les autres moyens couramment employés sont les écrans recouverts soit de sulfate de quinine ou d'esculine, soit de sulfure de calcium ou de platino-cyanure de baryum, toutes substances qui s'illuminent quand elles sont soumises à l'action de la propriété actinique des rayons lumineux.

Toute radiation lumineuse, la radiation verte, par exemple, dans la partie moyenne du spectre, possède ces trois qualités. Puisque notre œil la perçoit, elle possède donc la propriété lumineuse; et si nous la faisons agir sur le bolomètre et sur la plaque photographique, nous remarquons qu'elle les impressionne également. Bien plus la réfraction de cette radiation sur un second prisme ne peut la débarrasser d'aucune de ces trois propriétés.

Cependant, chaque radiation ne possède pas ces trois qualités au même degré. C'est ainsi que la propriété calorifique prédomine dans les radiations qui constituent la zone qui va du rouge au vert; à partir de là et jusqu'au violet la qualité chimique va en augmentant. La localisation de ces propriétés sur ces radiations lumineuses tient à ce que celles-ci présentent chacune une constitution ou longueur d'onde différente : les radiations calorifiques sont les plus longues, les lumineuses tiennent le milieu, les actiniques sont les plus courtes.

ARTICLE II. — *Le spectre invisible.*

Il ne faudrait pas croire que le spectre solaire ne se compose que de radiations perceptibles pour notre œil. Non, le spectre solaire possède encore en deçà du rouge, comme au delà du violet, des radiations pour lesquelles notre œil est atteint de cécité.

Aussi, pour les rendre sensibles, devons-nous avoir recours aux subtils instruments précédemment décrits, c'est-à-dire le bolomètre et le microradiomètre ou pile de Melloni, qui révèlent les radiations calorifiques, la plaque photographique et les écrans luminescents qui révèlent les radiations actiniques.

Étendue du spectre visible en deçà du rouge :

l'infra-rouge.

En 1800, Herschell, employant simplement le thermomètre, put montrer avec cet instrument grossier, une augmentation de température dans une région située en deçà du rouge et qui était pour l'œil absolument invisible. Mais c'est avec le bolomètre de Langley, instrument de précision capable de déceler une variation de $1/10.000^{\circ}$ de degré de température, que l'on a pu reculer le plus loin l'étude du spectre obscur situé en deçà du rouge.

Il existe donc en deçà du rouge des ondes qui, pour être plus longues et plus lentes, n'en sont pas moins comparables aux ondes lumineuses. L'on ne sépare plus, en effet, aujourd'hui comme autrefois, la chaleur et la lumière; avec Ampère, on en fait deux modalités différentes d'une même énergie.

Comme nous venons de le dire, les ondes du spectre intra-rouge sont plus longues et, par suite, plus lentes

que celles du rouge visible, et plus l'on s'éloigne, plus la longueur d'onde augmente. C'est ainsi que dernièrement Rubens et Aschkinass sont arrivés à découvrir des radiations de 40 et de 60 μ produites par le bec Auer. Comme nous le voyons, les limites de l'infrarouge ont pu être reportées très loin en deçà du rouge dont les radiations n'ont qu'une longueur d'onde égale à 0 μ 700.

Étendue du spectre visible au delà du violet :

l'ultra-violet.

Si nous revenons maintenant à l'autre extrémité du spectre, nous nous apercevons bientôt que l'œil est incapable de nous renseigner sur son exacte limite. Un écran luminescent s'illumine déjà dans une partie située bien au delà de l'extrême violet visible. Un verre d'urane se comporte de même. Toutefois, la plaque photographique est de beaucoup le réactif le plus sensible aux radiations de cette partie obscure du spectre.

La caractéristique de ces rayons, c'est de posséder des propriétés chimiques ou actiniques très intenses. Ainsi, pour citer quelques exemples, ils déterminent la combinaison du chlore avec l'hydrogène, ils décomposent les sels d'argent, d'or et de platine, ils blanchissent les tissus d'origine végétale et modifient de nombreuses couleurs.

Leurs longueurs d'onde sont caractérisées par leur petitesse. Les limites du spectre ultraviolet, sont, en effet, comprises entre la longueur d'onde 0 μ 392 et la longueur d'onde 0 μ 295, pour l'ultra-violet solaire. Mais, par l'étude du spectre de divers corps, on a pu les reculer bien au delà, comme nous le verrons dans le chapitre suivant.

Qu'y a-t-il au delà de l'infra-rouge et de l'ultra-violet ?

Bien que cela nous entraîne un peu hors de notre sujet, nous croyons cependant, sinon utile, du moins intéressant, de faire une courte incursion dans les théories modernes qui ne voient dans la lumière, la chaleur, l'électricité, etc., qu'une énergie unique se manifestant suivant des modalités différentes. Ces nouvelles conceptions ont permis de placer à la suite des radiations lumineuses en deçà de l'infra-rouge, comme au delà de l'ultra-violet, des radiations soit récemment découvertes, soit rapportées à une énergie spéciale, considérée jusqu'alors comme différente de l'énergie lumineuse.

De la sorte, on a pu placer immédiatement en avant de l'infra-rouge les rayons de Rubens, les oscillations hertziennes et les oscillations électriques, sortes de radiations à ondes encore plus lentes et plus longues que celles des radiations qui constituent l'infra-rouge.

De l'autre côté et faisant suite aux radiations de l'ultra-violet, on a mis les rayons de Blondlot (rayons N), les rayons de Röntgen (rayons X) et les rayons γ du radium.

M. Nogier a donné, dans le tableau suivant (77) cette gamme des radiations :

La vitesse des oscillations croît de 1 jusqu'à 9 et au delà.	{	1 ^o Oscillations électriques.
		2 ^o Oscillations hertziennes.
		3 ^o Rayons de Rubens.
		4 ^o Rayons infra-rouges (décelables par le bolomètre et le thermomètre).
		5 ^o Rayons lumineux (visibles pour l'œil).
		6 ^o Rayons ultra-violets (révélés par les phénomènes de fluorescence et la plaque photographique).
		7 ^o Rayons de Blondot (rayons N).
		8 ^o Rayons de Röntgen (rayons X) et rayons γ du radium.
		9 ^o Rayons de Becquerel (dont la place exacte est encore à déterminer).

ARTICLE III. — *Transformations de la lumière
par les corps.*

Il nous reste, pour terminer cette étude des généralités sur le spectre, à dire quelques mots des transformations que subit la lumière, quand elle vient frapper un corps.

On peut résumer ces transformations en disant que d'un faisceau lumineux frappant un corps, une partie est réfléchie, une partie réfractée, une partie diffusée et enfin une partie absorbée.

Les phénomènes de la réflexion et de la réfraction intéressent surtout l'optique. Aussi les laisserons-nous de côté pour nous occuper de la diffusion et surtout de l'absorption.

Diffusion et phénomènes de *luminescence*.

Dans le phénomène de la diffusion pure et simple, il n'y a plus de relation simple entre la vibration nouvelle qui émane de la surface diffusive et la vibration initiale. Mais il n'y a pas de transformation de radiations et la couleur de la radiation diffusée est identique à celle de la radiation éclairante. De plus, la lumière diffusée n'a que la durée de la lumière excitatrice.

Les choses ne se passent pas, toutefois, toujours ainsi. Il est, en effet, certains corps, tels que le sulfate de quinine, le verre d'urane, les platino-cyanure de baryum et de calcium, par exemple, qui jouissent de la propriété de transformer les radiations qu'ils sont chargés de diffuser en radiations de longueur d'onde différente, et par suite de couleur différente.

Ces phénomènes, que Wiedemann a désignés sous le terme générique de « phénomènes luminescents », consistent dans une dégradation de l'énergie lumineuse, confirmant, à ce point de vue, cette grande loi générale de l'énergetique, qui veut que toute transformation s'accompagne d'une perte de force. En effet, les corps qui sont le siège de ces phénomènes, et que nous pourrions appeler corps luminescents, ont la propriété de transformer les radiations qu'ils reçoivent en radiations de longueur d'onde plus grande et de réfrangibilité moindre.

Wiedemann divise les phénomènes luminescents en deux catégories :

1° Phénomènes de *fluorescence*, dans lesquels l'émission des rayons diffusés cesse en même temps que la lumière excitatrice;

2° Phénomènes de *phosphorescence*, dans lesquels la diffusion du corps luminescent survit à son excitation.

Comme exemples de corps phosphorescents, nous citerons le sulfure de strontium, le diamant, l'arragonite. La persistance du phénomène est variable avec chacune de ces substances : de trente heures avec le sulfure de strontium, elle n'est plus que de quelques heures avec le diamant, et enfin de quinze à vingt secondes avec l'arragonite.

Absorption par les corps transparents.

Ainsi qu'il n'y a pas de corps tout à fait opaques, de même il n'y en a pas de complètement transparents. Le verre, l'eau, l'air lui-même, sous une épaisseur convenable, absorbent tout ou partie des radiations qui les traversent. C'est ainsi que, dans les parties du fond de la mer

d'une certaine profondeur, règne une obscurité à peu près complète, tandis que les parties superficielles sont parfaitement claires.

Le corps transparent, quand on opère en lumière blanche, exerce une véritable sélection sur les rayons qui le pénètrent, retenant les uns, laissant passer les autres.

Mais si l'on ne considère que la lumière monochromatique, l'expérience montre que la lumière décroît d'une façon géométrique quand l'épaisseur traversée croît d'une façon arithmétique, ce que l'on peut exprimer de la façon suivante :

$$I = I_0 a^x$$

I désigne l'intensité restante, I_0 l'intensité initiale, a le coefficient de transmission de la substance donnée. Ainsi, la décroissance de la lumière augmente rapidement pour peu que la valeur de a soit considérable; mais, en tendant vers zéro, elle ne devient jamais nulle.

Un corps transparent pour la lumière est dit diaphane, et incolore, s'il ne possède pas de couleur propre. Par analogie, on a des substances diathermanes, si elles se laissent traverser par la chaleur. Les substances diathermanes sont dites athermochoïques ou thermochoïques suivant qu'elles sont ou non colorées pour la chaleur, c'est-à-dire suivant qu'elles sélectionnent ou non les radiations calorifiques. La thermochrose est l'étude des substances à ce point de vue. Le professeur agrégé Th. Nogier (77) a créé le terme de *diactinoboles* pour désigner les substances perméables aux rayons chimiques. Les substances *diactinoboles* sont ou anaactinochoïques ou actinochoïques, suivant qu'elles transmettent tous les

rayons actiniques ou qu'elles en sélectionnent quelques-uns.

Les substances diactinoboles sont évidemment les seules qui nous intéressent. Toutefois, nous réserverons leur étude pour le chapitre spécialement consacré aux rayons ultraviolets, les rayons actiniques par excellence.

CHAPITRE II

Étude physique de l'ultra-violet.

ARTICLE I. — *Considérations générales.*

Définition des rayons ultra-violets.

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, les rayons ultra-violets sont représentés par des radiations lumineuses, qui continuent le spectre solaire visible au delà du violet, qui en constituent, par conséquent, la portion la plus réfrangible, mais qui sont surtout caractérisées par leurs propriétés chimiques intenses, leur faible longueur d'onde, et la rapidité de leurs vibrations.

Aussi les désigne-t-on souvent indifféremment sous le nom de « rayons chimiques » ou de « rayons de petite longueur d'onde ».

La longueur d'onde de ces radiations est, en effet, inférieure à $0\ \mu\ 4$ qui représente la longueur des radiations les plus réfrangibles ou les plus courtes du spectre visible. Inversement, le nombre des vibrations des radiations ultra-violettes est supérieur à 750 trillions, nombre qui correspond aux radiations extrêmes du violet.

Comment classe-t-on les radiations ultra-violettes ?

Pour classer les radiations ultra-violettes, on a fait choix de deux unités qu'il importe de bien connaître : le micron ou μ et l'unité Angström. Le micron, que nous connaissons déjà, représente la millièrne partie du millimètre; c'est le millionimètre, comme on le désigne quelquefois: les rayons violets sont compris entre $0 \mu 4$ et $0 \mu 1$. L'unité Angström, qui tend de plus en plus à se substituer à la précédente, en est la dix-millième partie. C'est donc la dix millionième partie du millimètre; les rayons ultra-violetts sont ainsi compris entre 4.000 et 1.000 unités Angström, ou, en abrégé, 4.000 Å. et 1.000 Å.

Principales longueurs d'onde mesurées dans l'ultra-violet des différents spectres.

Nous n'avons eu en vue jusqu'ici que l'ultra-violet du spectre solaire, mais le soleil n'est pas l'unique source de ces radiations. Et c'est grâce à l'étude du spectre des autres substances capables d'en fournir, telles que certaines vapeurs métalliques et divers gaz lumineux, que l'on a pu reculer très loin les limites de cette portion du spectre.

Pour préciser l'étude de l'étendue de l'ultra-violet dans ces divers spectres, nous le diviserons d'après son origine en trois groupes : l'ultraviolet solaire, l'ultraviolet des vapeurs métalliques et l'ultra-violet des gaz lumineux.

a) *Ultra-violet solaire.* — Le spectre solaire est très riche en radiations ultra-violettes, beaucoup plus riche même peut-être qu'on ne serait tenté de le croire. Malheureusement, avant d'arriver jusqu'à nous, ces radiations ont à traverser des milieux plus ou moins défavorables à

leur propagation, ainsi que nous le verrons plus loin. C'est pourquoi la portion ultra-violette du spectre solaire, tel que nous le recevons, est relativement restreinte dans son étendue. Elle est comprise entre la raie $\lambda = 3.920 \text{ \AA}$ du côté du violet et de la raie $\lambda = 2.950 \text{ \AA}$ du côté ultra-violet.

b) *Ultra-violet des vapeurs métalliques.* — L'étude du spectre des métaux a permis de reculer les limites de l'ultra-violet bien au delà de celles de l'ultra-violet solaire.

Nous commencerons l'étude de l'ultra-violet des vapeurs métalliques par celle du spectre du mercure. Les vapeurs de mercure sont une des sources les plus puissantes d'ultra-violet; aussi devons-nous leur réserver la primauté. Le spectre émis par ce métal est pauvre en radiations de grande longueur d'onde; c'est à peine si nous trouvons trois raies un peu brillantes, dans le rouge: ce sont la raie $\lambda = 6.908 \text{ \AA}$, la raie $6.234 \text{ \AA}$ et la raie $6.149 \text{ \AA}$. Ensuite, on trouve deux raies principales, très brillantes, dans le jaune orangé $\lambda = 5.790 \text{ \AA}$ et $5.679 \text{ \AA}$, une dans le jaune vert $\lambda = 5.461 \text{ \AA}$, deux dans le vert $\lambda = 4.959 \text{ \AA}$ et $\lambda = 4.916 \text{ \AA}$, et plusieurs enfin très intenses dans le bleu, le violet et l'ultra-violet entre $\lambda = 4.359 \text{ \AA}$ et $\lambda = 2.225 \text{ \AA}$.

Cernovodeanu et V. Henri (30) ont repéré dans le spectre ultraviolet du mercure les raies suivantes :

3908	3663	3654	3650
3341	3131	3126	3027
3026	3023	3022	2967
2925	2894	2857	2820
2801	2803	2759	2752
2699	2673	2655	2654
2672	2640	2571	2535
2534	2483	2482	2481
2400	2379	2346	2301
2276	2262	2224	

Ansî, comme on le voit, la portion la plus riche du spectre du mercure est bien certainement la portion ultraviolette.

Mais, si le spectre du mercure est riche en radiations de courte longueur d'onde, il n'est pourtant pas celui qui possède les plus courtes. Après lui, vient le cadmium. Ce métal fournit un spectre ultra-violet qui s'étend depuis la raie $\lambda = 3.609 \text{ \AA}$. (raie 9 du cadmium) jusqu'à la raie $\lambda = 2.144 \text{ \AA}$. (raie 26).

Ce n'est pas tout. Les vapeurs de zinc reculent les limites de l'ultra-violet encore plus loin. La portion ultraviolette du spectre de ce métal s'étend, en effet, jusqu'à la raie $\lambda = 2.024 \text{ \AA}$. (raie 29 du zinc).

Enfin, parmi les métaux, l'aluminium est celui qui reporte le plus bas la limite de l'ultra-violet : son spectre ultra-violet, déterminé par Soret, s'étend depuis la raie $\lambda = 1.988 \text{ \AA}$. (raie 30 de l'aluminium) jusqu'à la raie $\lambda = 1.852 \text{ \AA}$. (raie 32₂ de l'aluminium).

La raie $\lambda = 1.852 \text{ \AA}$. a été considérée pendant longtemps comme la limite extrême de l'ultra-violet des vapeurs métalliques. Mais, récemment, et toujours par l'observation du spectre de l'aluminium, Cornu et Schumann ont encore reculé cette limite jusqu'à la raie $\lambda = 1.200 \text{ \AA}$.

Le fer et le magnésium possèdent un spectre ultraviolet analogue à celui du cadmium et du zinc.

Enfin, bien que n'appartenant pas au groupe des métaux, nous parlerons quand même ici du spectre des vapeurs de carbone, qui est très riche en radiations de courte longueur d'onde, bien que cependant la valeur de λ ne soit jamais inférieure à $2.225 \text{ \AA}$. Toujours parmi les métalloïdes, nous citerons le silicium, qui possède égale-

ment son spectre ultra-violet, ainsi qu'ont pu le démontrer MM. A. de Grammont et C. de Watteville (55), en faisant éclater entre des fragments de silicium (octaèdres ou paillettes) des étincelles oscillantes.

c) *Ultraviolet des gaz luminescents.* — Comme nous venons de le voir, l'observation des spectres des métaux recule la limite de l'ultra-violet solaire très loin. Et on peut dire qu'elle double son étendue.

Avec l'étude du spectre des gaz raréfiés rendus luminescents au moyen de l'étincelle électrique, on a pu étudier l'ultra-violet extrême. En effet, le professeur Lyman, de Harvard University, a montré, au moyen d'appareils en fluorine placés dans le vide, que dans la région du spectre qui va de 1.650 Å. à 1.030 Å., l'hydrogène donne des raies très visibles, mais qui ne présentent pas les groupements habituels aux raies de l'hydrogène dans les autres régions du spectre. D'après ce même auteur, l'azote, l'oxygène et même l'hélium ne donnent aucune ligne spectrale entre 2.000 Å. et 1.030 Å. Par contre, dans cette même région, l'argon donnerait quelques raies, et l'acide carbonique et l'oxyde carbone y présenteraient des spectres riches en bandes (72).

En résumé :

L'ultra-violet scolaire a pour limite . . .	2950 Å.
L'ultra-violet des vapeurs métalliques .	4200 Å.
L'ultra-violet des gaz luminescents . . .	1030 Å.

ARTICLE II. — *Les sources de l'ultra-violet.*

L'étude précédente a déjà dû nous faire pressentir quelles pouvaient bien être les différentes sources d'ultra-violet. Elle constituera également un précieux élément pour la discussion de leur valeur respective.

Les sources de l'ultraviolet peuvent être naturelles ou artificielles.

1^{re} **Le soleil, source naturelle d'ultra-violet.**

Le soleil représente évidemment l'unique source naturelle d'ultra-violet. Nul doute qu'il ne s'agisse là d'une source très intense. Malheureusement, l'ultra-violet solaire constitue, comme nous l'avons vu, un spectre trop peu étendu, sa limite extrême ne dépassant point la raie $\lambda = 2.950 \text{ \AA}$. Une telle limite est incompatible avec les effets que nous sommes aujourd'hui en droit d'attendre de l'ultra-violet situé au delà de $2.950 \text{ \AA}$. Et quand bien même l'ultra-violet solaire s'étendrait aussi loin que celui des vapeurs métalliques ou des gaz luminescents, il resterait encore une source peu pratique, car beaucoup trop de conditions, que nous apprendrons à connaître, tendent à modifier, à restreindre encore son étendue.

Aussi, pour obtenir de façon commode et constante un ultra-violet étendu, devons-nous nous adresser aux sources artificielles.

2^{re} **Les sources artificielles de l'ultra-violet.**

Pour nous conformer autant que possible à la marche déjà suivie pour l'étude du spectre ultra-violet des métaux et des gaz, nous étudierons en premier lieu les sources

qui empruntent leurs radiations ultra-violettes aux vapeurs métalliques et en second lieu celles qui tiennent ces radiations des gaz luminescents. Nous dirons ensuite quelques mots de différentes autres sources beaucoup moins communes, et de valeur moindre. Nous terminerons enfin cette étude par la discussion de la valeur respective de ces diverses sources.

A. Sources artificielles empruntant leurs radiations ultra-violettes aux vapeurs métalliques.

Cet ordre de source artificielle comprend deux grands groupes : l'arc électrique à charbons et l'arc électrique à flamme.

a) *Arc électrique à charbons.* — L'arc voltaïque est la source de rayons ultra-violet la plus ancienne. Mais ce n'est pas seulement une source riche en rayons actiniques, car il produit encore des quantités énormes de rayons calorifiques et lumineux. La lumière qu'il émet est aussi voisine que possible de la lumière du soleil. Elle fournit ainsi un spectre complet comprenant les rayons du spectre visible, des rayons infra-rouges et ultra-violet. Ces derniers forment un spectre assez étendu quand l'appareil fonctionne à feu nu, mais ils ne dépassent jamais 3.000 Å. quand l'arc est protégé par un globe de verre.

On obtient l'arc voltaïque en faisant passer un courant électrique d'intensité assez grande entre deux conducteurs de charbon terminés en pointe. Pour que l'arc se produise, il faut d'abord amener au contact les deux pointes de charbon. Elles rougissent et sont portées au blanc éblouissant : le carbone brûle, se réduit en vapeurs,

On peut alors les écarter, car la vapeur de carbone rend l'espace intermédiaire conducteur.

Pendant le fonctionnement, on constate que l'un des charbons s'use plus vite que l'autre; c'est le positif. De plus il se creuse en cratère, tandis que le négatif s'allonge en pointe. Ces phénomènes sont dus au sens du courant qui va du pôle positif au pôle négatif et qui arrache au charbon du pôle positif des particules matérielles pour les porter sur le pôle négatif.

Tel est l'aspect des charbons quand l'appareil fonctionne avec du *courant continu*. Mais si l'on emploie du *courant alternatif*, cet aspect change et l'on remarque que les deux crayons sont taillés en pointe et le charbon négatif s'use également vite que le charbon positif, contrairement à ce qui a lieu avec le courant continu (77).

Ces quelques faits étaient intéressants à connaître pour le bon réglage de l'appareil.

De nombreux appareils utilisant l'ultra-violet pour la thérapeutique ont été construits sur le principe de l'arc électrique à charbons. Tel est d'abord l'appareil de Finsen qui fonctionne sous un ampérage considérable, et qui sélectionne les rayons ultra-violets au moyen d'un système de lentilles de quartz rendant ces rayons d'abord parallèles, puis convergents, et enfin qui élimine les rayons calorifiques en leur faisant traverser une épaisse couche d'eau (79).

Puis viennent les appareils de Lortet-Genoud, de Marie, de Schall, employés en France encore aujourd'hui. Tandis que l'appareil de Finsen utilise ses rayons à 1 mètre, 1 mètre 50 de leur source, ceux-ci les utilisent aussi près que possible, à quelques centimètres de la région à

traiter. Pour protéger les tissus contre l'action des rayons calorifiques, l'appareil est muni d'un écran formé d'une cuvette en métal à circulation d'eau, dont la partie centrale est obturée par un compresseur en quartz.

Citons enfin l'appareil de Finsen-Reyn, qui n'est qu'une combinaison du Finsen et du Lortet-Genoud. Du premier il a le concentrateur de lumière à lentille de quartz; du second il a le rapprochement aussi grand que possible de l'arc à la zone à irradier.

b) *Arcs électriques à flamme*. — Pour enrichir le spectre de l'arc voltaïque en rayons ultra-violets de très courte longueur d'onde, on a imaginé les arcs flambants, dont le principe est le suivant : on fait brûler dans l'arc des substances métalliques, telles que le fer, le magnésium, le zinc, l'aluminium, toutes substances capables d'émettre, par l'incandescence de leurs vapeurs, un spectre ultra-violet très étendu. Nous avons vu, en effet, que la limite du spectre ultra-violet du zinc était représentée par la raie $\lambda = 2.024 \text{ \AA}$, et que celle de l'aluminium était représentée à la raie $\lambda = 1.200 \text{ \AA}$.

Sur ce principe reposent :

1° L'appareil de Strebel, qui est un arc ordinaire aux charbons duquel on a incorporé des oxydes de magnésium, d'aluminium, de zircon;

2° L'appareil de Bang, qui est constitué par un arc s'allumant entre deux électrodes de fer. Ces électrodes sont creuses et énergiquement refroidies par un courant d'eau;

3° L'appareil de Broca et Chatin, qui diffère du précédent en ce que le charbon positif est en charbon avec âme

métallique en fer, tandis que le pôle négatif est uniquement en charbon, et par divers dispositifs accessoires.

c) *L'arc au mercure.* — Bien que cette source d'ultra-violet puisse, au même titre que l'appareil de Bang à électrodes métalliques, être rangé dans la catégorie précédente, nous croyons cependant devoir la mettre à part, en raison de son importance et ensuite de son maniement facile.

Nous n'insisterons pas sur le spectre fourni par l'arc au mercure, nous le connaissons déjà : nous savons sa pauvreté en rayons calorifiques, et, au contraire, son extrême richesse en rayons lumineux et ultraviolets. Enfin, nous connaissons son étendue du côté de ces derniers : il s'arrête à la raie $\lambda = 2.225 \text{ \AA.}$, d'après les recherches d'Eder et Valenta. Il comprend les radiations les plus actives du spectre ultra-violet.

L'arc au mercure a été réalisé sous trois formes différentes, qu'il importe de bien connaître : la lampe à vapeur de mercure à tube de verre ; la lampe à vapeur de mercure à tube Uviol, et enfin la lampe à vapeur de mercure à tube de quartz.

α) *La lampe à vapeur de mercure à tube de verre.* — Cette lampe, comme les deux autres, du reste, n'est qu'une application d'un principe déjà ancien : la luminescence par le passage du courant électrique, d'une atmosphère de vapeur de mercure à l'intérieur d'un tube, où existe le vide.

Découverte par Arons, en 1892, elle fut lancée dans le domaine public par Cooper-Hewitt, de New-York. Elle se compose d'un long tube de verre incliné, de 43 à

110 millimètres de longueur, suivant les types, et de 25 millimètres de diamètre. Aux deux extrémités du tube sont soudées deux prises de courant. L'électrode positive est en fer, l'électrode négative est en mercure renfermé dans un diverticulum spécial. Le vide a été réalisé dans le tube.

Pour allumer cette lampe, on fait basculer le tube, de façon à faire couler le mercure d'une électrode à l'autre,

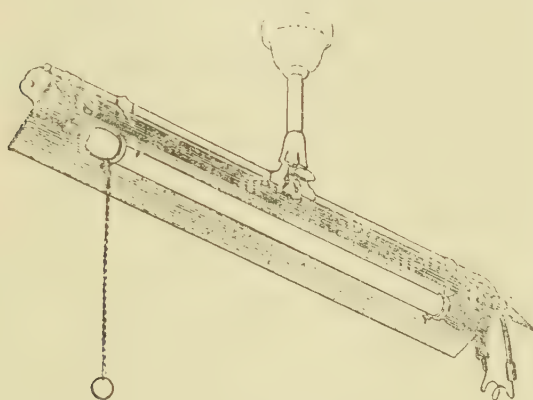


FIG. 1. — Une lampe Cooper-Hewitt munie de son réflecteur (79).

en formant un mince filet liquide qui détermine un court-circuit momentané. Si on le laisse revenir à sa position primitive, tout-l'intérieur du tube s'allume.

La lampe de Cooper-Hewitt, grand modèle, fournit une lumière de 800 bougies avec une faible dépense de 3 A. 50 sous 110 volts.

Le spectre ultra-violet de la lampe de Cooper-Hewitt a pour limite inférieure $\lambda = 3.000 \text{ \AA}$. Cette réduction du spectre ultra-violet du mercure est due à la nature du tube. Le verre, dont il est fait ici, s'oppose, en effet, à la sortie des rayons de longueur d'onde plus courte.

La température à l'intérieur du tube ne dépasse pas 140°, correspondant à une pression de vapeur de mercure de 2 millimètres. La lumière de la lampe à vapeur de mercure est donc bien, à vrai dire, une « lumière froide » (79).

β) *La lampe à vapeur de mercure à tube en verre Uviol.* — Cette modalité de lampe à vapeur de mercure doit son principal avantage de donner des radiations ultra-violettes de longueur d'onde plus courte que la modalité précédente à la nature spéciale du verre qui forme le tube. Le verre Uviol (abréviation d'ultra-violet), fabriqué à Iéna par la maison Schott, est, en effet, perméable aux rayons ultra-violets jusqu'à la longueur d'onde 2.530 Å. Son emploi nous fait donc gagner 470 Å. Il a encore l'avantage de supporter mieux les élévations de température que le verre ordinaire, ce qui permet d'augmenter l'intensité du courant et par là même l'émission d'ultra-violet (79).

γ) *La lampe à vapeur de mercure à tube de quartz.* — Mais, pour capter tout l'ultra-violet produit par les vapeurs de mercure, c'est au tube de quartz qu'il faut s'adresser. Comme nous le verrons un peu plus loin, cette substance est encore perméable à des radiations de longueur d'onde plus courte que celle des rayons qui constituent le spectre ultra-violet du mercure. Heræus, le premier, en 1905, a utilisé, pour la lampe à mercure, cette substance très propre à former l'enveloppe des sources d'ultra-violet de très courte longueur d'onde. Ce n'est, du reste, pas la première fois que nous la rencontrons dans le courant de cette étude, car nous avons déjà vu Finsen employer dans son appareil, pour concentrer les rayons actiniques, des lentilles en quartz.

La fabrication, en France, des lampes à vapeur de mercure à tube de quartz est relativement restreinte. Il faut pourtant citer les lampes de la Société l'Ultra-violet, à Paris, et celles de la Westinghouse-Cooper-Hewitt qui ne sont autre chose que des lampes Cooper-Hewitt à tubes de quartz.

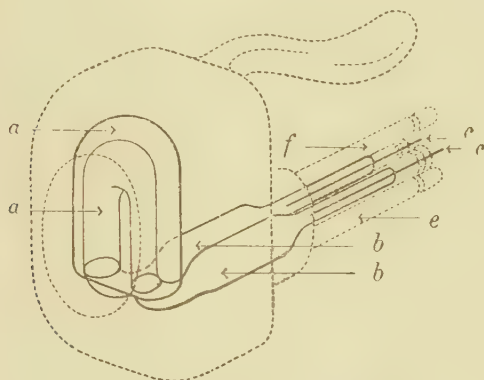


FIG. 2. — Lampe de Kromayer.

aa, tube en U en quartz, recouvrant les réservoirs *bb* contenant du mercure et dans lesquels pénètrent les conducteurs *cc*; *f* et *e*, tubes pour la circulation d'eau froide (79).

En Allemagne, c'est à Hanau que sont fabriquées les lampes en quartz à vapeur de mercure les plus connues et les plus employées en photothérapie. Il en existe deux types : le type Nagelschmidt et le type Kromayer.

Le type Nagelschmidt fonctionne à l'air libre. Il est composé d'un tube de quartz en forme de (H) double T couché, long de 8 à 10 centimètres, dont les extrémités sont pourvues de récipients en quartz renfermant les bains électrodes en mercure. Ces récipients sont entourés de nombreuses lamelles métalliques qui ont pour mission de dissiper la chaleur produite à ce niveau. Enfin elle porte au-dessus d'elle, et de chaque côté, un écran

réflecteur qui concentre la lumière sur la zone à traiter. Il en existe deux sortes : l'une fonctionnant à 100 ou 120 volts et 4 ampères; l'autre à 200 et 240 volts à 2 A. 50. Leur durée est d'au moins mille heures.

Le type Kromayer est beaucoup plus réduit. Il se compose d'un tube de quartz recourbé en forme d'U et entouré d'une chemise de quartz. Le tube de quartz porte à ses deux extrémités deux petits réservoirs à mercure et deux tiges de métal spécial fixées dans la paroi pour servir d'électrodes. Le courant nécessaire au bon fonctionnement de la lampe est variable avec le voltage de celle-ci. Th. Nogier en donne le tableau suivant :

Voltage de la lampe.....	70	70	70	150
Voltage de la canalisation.	90	100	120	240
Intensité du courant.....	5	5	5	2.7

Le tube en quartz est enfermé dans une enveloppe métallique polie et nickelée percée, à sa partie antérieure, d'une fenêtre en quartz destinée à donner issue aux rayons ultraviolets.

Le refroidissement est assuré par un courant d'eau qui doit circuler, pendant toute la durée du fonctionnement de l'appareil, autour du tube de quartz.

L'allumage de ces deux types de lampes s'effectue d'une façon analogue à celui des lampes Cooper-Hewitt, c'est-à-dire en les faisant basculer de façon à produire, au moyen du mercure, un court-circuit momentané dans les tubes à vide (79).

B. Sources artificielles empruntant leurs radiations ultraviolettes aux gaz luminescents.

Nous avons vu plus haut combien certains gaz raréfiés, tels que l'argon, l'anhydride carbonique, l'anhydride sul-

fureux, l'oxyde de carbone et surtout l'hydrogène possédaient un spectre riche en radiations de très courte longueur d'onde. C'est, en effet, grâce à l'étude du spectre de ces gaz que Lyman a pu reculer l'ultra-violet à sa limite la plus éloignée, soit $\lambda = 1.030 \text{ A}$, et montrer que c'est entre cette limite, d'une part, et $\lambda = 2.000 \text{ A}$, que le spectre de l'hydrogène est le plus riche en raies.

Le principal dispositif pouvant nous permettre d'obtenir le spectre ultra-violet de ces gaz est réalisé par les tubes de Geissler modifiés récemment par Lyman.

Les tubes de Lyman ne sont autre chose que des tubes de Geissler à parois de quartz. Cette substance étant perméable jusqu'à 1.500 A ., il est évident que les tubes sont de bonnes sources d'ultra-violet extrême, quoique peu intenses, car l'énergie électrique, qu'on leur applique, est faible.

C. Sources diverses d'ultraviolet.

Nous rangerons dans cette catégorie l'étincelle électrique et les effluves qui sont des sources assez puissantes d'ultra-violet.

L'effluve électrique a été préconisée par Strebel et Leduc comme « la source de rayons chimiques la plus pure, la plus économique, la plus intense et la plus pratique ». Malgré cela, elle est restée d'une pratique assez restreinte. Le professeur Leduc a cependant construit sur ce principe un appareil photothérapique dont il prétend avoir tiré les meilleurs résultats (79).

L'étincelle électrique semble avoir trouvé son emploi, comme source d'ultra-violet, dans la lampe de Lestie-Miller modifiée par Gaiffe. Cet appareil se compose essen-

tiellement de deux électrodes en fer, entre lesquelles on fait jaillir l'étincelle de décharge de deux condensateurs. Les tissus à traiter sont placés en avant d'une fenêtre en quarts qui se trouve immédiatement en avant de l'étincelle.

C'est dans cette classe aussi que nous placerons une source d'ultraviolet récemment étudiée. Nous voulons parler des « rayons d'origine chimique » de MM. Tassilly et Cambier. Ces auteurs, dans une communication à l'Académie des sciences, lue à la séance du 1^{er} août 1910, ont montré, dans le but de prouver que l'action des rayons ultra-violets était indépendante de l'énergie électrique, que l'on pouvait obtenir des rayons ultra-violets avec du sulfure de carbone brûlant dans de l'oxyde azotique.

Le spectre ultra-violet qu'ils ont ainsi obtenu est des plus restreints. Ayant photographié sur une même plaque, à l'aide du spectrographe de Ch. Féry, le spectre de la flamme à sulfure de carbone et le spectre de l'arc au fer, ils ont pu constater, par comparaison, que le spectre de la flamme de la lampe à CS² présente des bandes cannelées dans la région comprise entre $\lambda = 3.400 \text{ \AA.}$ et $\lambda = 4.900 \text{ \AA.}$, le maximum étant situé entre 4.200 $\text{\AA.}$ et 4.300 $\text{\AA.}$ (97).

Comme nous le voyons, il s'agit là d'une très faible source d'ultraviolet constituant un spectre qui n'a pas l'étendue de l'ultra-violet solaire.

D. Valeur respective de ces différentes sources.

De toutes les sources d'ultra-violet que nous venons de voir, la lampe à vapeur de mercure est sans contredit la plus parfaite. Ses avantages sur les autres sources sont

nombreux. Elle se recommande tout d'abord par la grande richesse de son spectre en radiations ultra-violettes. En effet, si le spectre ultra-violet de la lampe à vapeur de mercure ne contient pas des radiations à longueurs d'onde aussi courtes que celles des radiations d'autres sources telles que les tubes de Lyman, il possède beaucoup plus de radiations ultra-violettes de moyenne longueur d'onde : le spectre de la vapeur de mercure compte plus de 40 raies intenses dans l'ultra-violet, et plus de 100 d'intensité plus faible (Stiles).

En second lieu, la lampe à vapeur de mercure nous apparaît comme une source économique, et ceci à plusieurs points de vue. Tout d'abord, elle consomme relativement peu d'énergie électrique, à peine 0,25 watt pour les lampes en quartz. Cet avantage nous devient encore plus apparent, si nous comparons cette faible dépense à celle des arcs au charbon ou même des arcs flambants. L'appareil à charbons de Finsen fonctionne sous 60 à 80 ampères; ceux de Lortet-Genoud, de Schall et de Marie sous 15 et 20 ampères. Quoique plus économiques, les arcs flambants utilisent encore bien un courant d'une intensité d'au moins 8 ampères, et quelquefois plus, comme le fait l'appareil de Broca et Chatin qui demande une intensité de 15-20 ampères.

La lampe à vapeur de mercure est encore économique à ce point de vue qu'il n'y a presque pas d'énergie électrique perdue. Celle-ci est, en effet, presque tout entière transformée en énergie chimique. Il n'en va pas de même avec les appareils à arc au charbon ou à flamme, qui dégagent une chaleur intense. Le cratère positif de l'arc voltaïque produit une chaleur de 3.600 degrés. « Se ser-

vir de l'arc à charbons pour obtenir des rayons ultra-violets, dit Nogier, c'est imiter celui qui ferait exploser 1.000 kilos de poudre pour soulever un poids de 10 kilos (77). ». Non seulement le dégagement de chaleur constitue un gaspillage d'énergie dans les sources d'ultra-violet, mais il devient encore une gêne soit dans le traitement des lésions des tissus, soit dans l'expérimentation et même dans les applications pratiques, gêne contre laquelle il faut lutter par des dispositifs spéciaux.

Enfin, l'arc au mercure, ne nécessitant aucun réglage, ni aucun entretien, dispense de toute main-d'œuvre. L'on ne saurait en dire autant des appareils à arc qui demandent un réglage (régulateur spécial) et un entretien quotidiens (renouvellement des charbons). A ces inconvénients se joignent le dégagement de gaz toxiques, CO, CO² et produits nitreux dans l'arc voltaïque, et en plus d'abondantes fumées dans les arcs flambants.

De même l'amorçage et le désarmage faciles de la lampe à vapeur de mercure, ainsi que son insensibilité aux faibles variations de tension, constituent des avantages sérieux.

Nous ne saurions mettre en parallèle soit avec la lampe à vapeur de mercure, soit même avec les appareils à arc, l'effluve électrique et les tubes de Geissler modifiés ou non. L'énergie qu'ils mettent en jeu est, en effet, trop faible pour qu'ils puissent donner des résultats vraiment pratiques. Il est, de fait, bien difficile de comparer un arc de Finsen consommant 60 ou 80 ampères sous 50 volts, ce qui représente une puissance de 3.000 watts, avec un tube de Geissler actionné par une bobine qui fonctionne sous 2 ampères et 4 volts, au total 8 watts, dont une bien petite partie est utilisée au secondaire (79).

ARTICLE III. — *Propriétés physiques.*

Après avoir vu comment on pouvait se procurer des rayons ultra-violet, il nous faut étudier maintenant comment ces radiations se comportent vis-à-vis des différents corps. Nous ne dirons rien de la réflexion qui n'offre rien de spécial, ni de la réfraction, si ce n'est qu'ils constituent les radiations les plus réfrangibles du spectre. Par contre, nous nous arrêterons quelques instants sur la propriété dont ils jouissent à l'égard des corps électrisés, sur leur diffusion et surtout sur leur absorption par les divers milieux.

1° **Propriétés électriques de l'ultra-violet.**

Les rayons ultra-violet jouissent de la curieuse propriété de décharger les corps électrisés négativement. Hertz est le premier qui constata ce phénomène. Wiedemann et Ebert étudièrent de plus près le phénomène, en plaçant dans le circuit d'un excitateur relié à une machine de Holtz un tube de Geissler.

Hallbachs a montré, beaucoup plus simplement, au moyen d'un électroscope à plateau, que la charge de l'appareil disparaît très lentement, tant qu'il n'est pas éclairé ou même à la lumière, pourvu que le plateau soit chargé d'électricité positive. S'il est chargé d'électricité négative et qu'on vienne à l'éclairer, les feuilles d'or se rapprochent très vite. Les rayons violets et surtout les ultra-violet sont les seuls actifs.

Nogier a réalisé une expérience qui vient à l'appui de ces dernières. Il relie les deux boules d'un excitateur à une petite bobine de Ruhmkorff et les écarte ensuite, de

façon à supprimer le flux d'étincelles. Si à ce moment on vient à approcher de la boule négative une pointe métallique ou l'extrémité d'un crayon, les étincelles recommencent à éclater nombreuses et serrées. Mais la pointe présentée à la boule positive ne produit aucun phénomène semblable. Il n'est pas douteux que la pointe ne soit, dans ce cas, la source d'une petite aigrette dont les rayons ultra-violets déterminent le phénomène. Cette expérience est doublement intéressante, car elle montre à la fois la production d'ultra-violet par la décharge électrique et la propriété de ces radiations (77).

2° Diffusion de l'ultra-violet.

Les rayons ultra-violets sont vivement diffusés par les différents corps qu'ils frappent. Bordier a pu en constater les pénibles effets sur lui-même. Sans s'exposer à la lumière directe de la lampe de Kromayer, qu'il évitait même avec soin, il a été, à deux reprises différentes, atteint de conjonctivite à la suite de l'irradiation d'un loup. Cette constatation l'a amené à faire d'assez intéressantes expériences sur le pouvoir diffusif des corps vis-à-vis des rayons ultra-violets (19).

Pour faire ces déterminations, Bordier se servait de la lampe de Kromayer et de son chromoactinomètre, dont nous parlerons plus loin.

A l'aide de ce dernier instrument, il commençait à déterminer le temps mis par une bande réactif appliquée immédiatement contre un certain corps donné pour virer à la teinte 0 sous l'influence de la lumière directe de la lampe placée à une distance a (31 m/m). Il cherchait ensuite le temps t' qu'il fallait à la lumière diffusée par le

corps en question pour faire virer à la même teinte 0 une nouvelle bande placée sur le même plan que la source lumineuse, et bien protégée contre l'action directe de celle-ci. Dans ce dernier cas, la distance parcourue par la lumière est égale à $2a$ (62 m/m).

Le quotient $\frac{t}{t'}$ représente le pouvoir diffusif spécifique de chaque corps. Ayant déterminé une fois pour toutes le temps t qui était égale à 23", il déterminait ensuite le temps t' pour chaque corps différent. Il arriva ainsi à déterminer le pouvoir diffusif spécifique d'un certain nombre de substances. Nous ne citerons que quelques résultats parmi les plus intéressants : une étoffe blanche granitée a un pouvoir diffusif égal à 51 ; une étoffe noire un pouvoir diffusif égal à 4,2 seulement. Celui de la peau humaine varie suivant la coloration : il est de 7,1 en cas de peau noire (cadavre d'un Arabe), de 9,3 en cas de peau blanche normale. L'humidité diminue le pouvoir diffusif qui descend alors à 8,3 ; au contraire, la sécheresse de la peau l'augmente jusqu'à 11. Ces chiffres ne se rapportent qu'à la peau du cadavre. Quelques recherches sur la peau vivante ont montré que son pouvoir diffusif était plus faible. Ce phénomène paraît être en relation avec les phénomènes de vaso-dilatation qui communiquent à la peau vivante un certain degré de rougeur. Cette teinte spéciale de la peau est suffisante à expliquer cette diminution du pouvoir diffusif. Car le même auteur a démontré que ce pouvoir diminuait du bleu au rouge, et qu'il était encore plus faible dans le noir.

Cette étude du pouvoir diffusif que manifestent les corps à l'égard des radiations ultra-violettes trouve son application pratique dans le choix à faire des substances desti-

nées à protéger le médecin et les malades contre l'action nocive de ces radiations.

3° Les rayons ultra-violets et les phénomènes de luminescence.

Nous avons vu que lorsque les rayons lumineux frappent certains corps diffusifs, tels que le platino-cyanure de baryum ou le verre d'urane, ces différentes substances se transforment en sources lumineuses émettant des radiations lumineuses de longueur d'onde supérieure à celle des radiations excitatrices. Nous savons également que ces phénomènes luminescents prennent un nom différent suivant que la luminescence cesse avec l'excitation (fluorescence) ou lui survit (phosphorescence).

Par le simple raisonnement, on peut arriver à conclure que les rayons ultra-violets sont les radiations les plus aptes à produire ces phénomènes qui consistent essentiellement en une dégradation de l'énergie : des radiations d'une longueur d'onde donnée sont transformées en radiations de longueur d'onde supérieure.

Or, si nous augmentons la longueur d'onde des radiations ultra-violettes, nous les transformons en rayons du spectre visible sensibles pour notre rétine. De même, si nous faisons subir une telle transformation à la longueur d'onde des radiations purement lumineuses, les rayons bleus, par exemple, nous en ferions tout simplement des radiations rouges ou infra-rouges, et l'écran fluorescent ne s'illuminerait pas, ou du moins très peu. Rationnellement parlant, on peut donc dire que les rayons ultra-violets représentent les radiations les plus propres à la production des phénomènes luminescents.

L'expérience confirme entièrement ces données théoriques. Et l'on a pu remarquer que l'ultra-violet extrême se prête merveilleusement bien à ces constatations (4).

4° Actinochrose ou étude de l'absorption des rayons chimiques par les milieux transparents.

Nous abordons là un sujet qui compte certainement parmi les plus importants de la physique de l'ultra-violet. Nous avons pu déjà nous rendre compte, au cours de l'étude des sources d'ultra-violet, du rôle énorme qu'il joue dans la limitation de certains spectres.

Nous diviserons cette étude en trois paragraphes consacrés, l'un à l'absorption par les milieux gazeux, le second à l'absorption par les corps solides, et, enfin, le troisième à l'absorption par les liquides.

A. *Absorption par les gaz.* — L'absorption de l'ultra-violet par les gaz est considérable, et elle l'est d'autant plus que nous avons affaire à des radiations de courte longueur d'onde. Bloch a, en effet, montré que le coefficient de frottement dans ce phénomène est fonction de la longueur d'onde, comme le coefficient analogue qui intervient dans la théorie des métaux. D'après lui, ce coef-

(4) D'après ce que nous venons de dire, l'infra-rouge devrait être tout à fait inapte aux phénomènes de la luminescence. Il n'en est rien. Et Becquerel a pu les provoquer, d'une façon un peu spéciale cependant, dans cette portion du spectre. Il insolait d'abord une plaque recouverte de substance phosphorescente, il la plaçait ensuite dans la partie calorifique du spectre, et il pouvait constater que son éclat était temporairement augmenté. Il a donné à ces rayons, qui se comportent de même vis-à-vis de la plaque déjà impressionnée, le nom de « rayons continuateurs ». Il s'agit là certainement d'un phénomène d'un ordre un peu différent. On sait, en effet, que l'élévation de température augmente l'éclat d'un corps phosphorescent, mais diminue l'éclat de sa phosphorescence.

ficient est d'autant plus grand que la période propre est plus éloignée dans l'ultra-violet.

Tous les gaz ne se comportent pas de la même façon dans le phénomène de l'absorption de l'ultra-violet. C'est ainsi que Lyman a pu montrer que l'hydrogène, l'argon et l'hélium sont très transparents aux radiations de cette nature. Au contraire, l'oxygène les absorbe très énergiquement. Et c'est là très probablement qu'il faut chercher l'explication de l'absorption des rayons ultra-violet par l'air (72).

L'absorption des radiations de courte longueur d'onde par l'air est un phénomène assez complexe qui est fonction d'un certain nombre de facteurs importants.

Et tout d'abord, il est fonction de l'épaisseur de la couche plus ou moins profonde que doit traverser l'ultra-violet. Schumann a montré qu'une couche d'air épaisse de 1 m/m absorbe toutes les radiations au-dessous de 1.660 Å. Kreussler, de son côté, a calculé que pour une colonne d'air de 20 centimètres il y avait absorption de 8,8 p. 100 pour les radiations de 1.860 Å. Pour celles de 1.930 Å, l'absorption ne se produit plus.

Nous avons vu, d'autre part, que l'atmosphère limitait le spectre solaire à 2.950 Å. Toutefois, cette limite ne doit pas être invariable, car les différences d'altitude faisant varier l'épaisseur de la couche d'air qui nous enveloppe font aussi varier en raison directe la limite de l'ultra-violet solaire, comme il résulte des expériences de Kreussler. Il est à regretter que des expériences plus nombreuses sur l'étendue de l'ultra-violet solaire aux diverses altitudes n'aient pas été faites. La plupart des recherches faites dans cet ordre d'idées ont plutôt rapport à l'intensité des

rayons chimiques qu'à leur nature, que la plupart des expérimentateurs semblent avoir totalement oubliée.

Un autre facteur de la variabilité de l'absorption ultra-violette de l'air est représenté par la vapeur d'eau. Nous verrons dans un paragraphe suivant que l'eau absorbe dans une certaine mesure les radiations ultra-violettes. En conséquence, plus l'atmosphère est saturée d'eau, plus le spectre solaire est limité. Cela ressort nettement de ce fait que les explorateurs du pôle Nord, où l'air est très sec, sont beaucoup plus souvent victimes de coup de soleil graves que ceux qui fréquentent l'équateur, où l'atmosphère est sursaturée de vapeur d'eau.

Les poussières, enfin, contribuent fortement à diminuer la perméabilité de l'air.

B. *Absorption par les corps solides.* — Le verre, si transparent pour la lumière, est à peu près opaque pour les rayons ultra-violets. Bordier et Fabry ont montré que cette opacité était fonction directe de l'épaisseur : une épaisseur de verre de 1/10 de millimètre ne limite le spectre ultra-violet qu'à $\lambda = 2.600 \text{ \AA}$., tandis qu'un verre épais de 1 m/m 4 l'arrête à partir de $\lambda = 2.950 \text{ \AA}$. Quoi qu'il en soit, on peut dire d'une façon générale que le verre limite l'ultra-violet à $\lambda = 3.000 \text{ \AA}$ (22).

L'influence des couleurs sur la perméabilité du verre est diverse, comme l'a encore montré Bordier, qui a étudié, à ce point de vue, les verres d'optique médicale désignés dans le vulgaire sous le nom de « conserves ». Les verres bleus, quelle que soit leur teinte, se comportent en tous points comme le verre ordinaire. La teinte 6 seule des verres fumés est plus opaque que le verre ordinaire.

Pour les verres Motais (verres jaunes), il n'y a que la variété très foncée, teinte 4, qui ait une imperméabilité un peu supérieure à celle du verre blanc. Par contre, les teintes 4 et 5 des verres Fieuzal (verres verts) présentent une opacité complète pour l'ultra-violet. La conclusion pratique se dégage d'elle-même (22).

Il est enfin d'autres verres qui ont la prétention d'assurer à l'œil une protection efficace contre les radiations ultra-violettes. Tels sont le verre à l'esculine et le verre Euphos, qui arrête ces rayons à partir de $\lambda + 3.200 \text{ \AA}$.

Le verre « Uviol », de la maison Schott d'Iéna, est un verre spécial qui, à l'inverse des précédents, augmente la perméabilité du verre. Il laisse effectivement filtrer les rayons ultra-violets jusqu'à $\lambda = 2.530 \text{ \AA}$.

A un degré de perméabilité plus élevé, nous citerons le spath qui se laisse traverser jusqu'à $\lambda = 2.144 \text{ \AA}$., le gypse et le sel gemme, à condition que leur surface ne soit point dépolie.

Malgré tout, les substances vraiment diactinoboles sont encore le quartz et la fluorine blanche. Le quartz est perméable jusqu'à $\lambda = 1.500 \text{ \AA}$. et la fluorine jusqu'à $\lambda = 1.225 \text{ \AA}$. Comme on le voit, le quartz n'est pas perméable à tout le spectre ultra-violet, puisqu'il est actinochroïque à partir de $\lambda = 1.500 \text{ \AA}$. Cet actinochroïsme croît avec son épaisseur et sous 10 centimètres il absorbe les deux raies 30 et 31 de l'aluminium et affaiblit un peu la raie 29 de ce métal ($\lambda = 2.024 \text{ \AA}$.). De plus d'après Pflügger le quartz fondu serait moins transparent que le quartz naturel. Néanmoins le quartz reste une substance précieuse pour les applications de l'ultra-violet.

Citons enfin en terminant la curieuse observation de De Chardonnet sur l'argent métallique. En couche mince, comme celle qui constitue l'étain des miroirs, il est perméable aux radiations actiniques situées entre $\lambda = 3.439 \text{ \AA}$. et $\lambda = 3.019 \text{ \AA}$. On peut ainsi à l'aide d'un objectif argenté opaque pour toute lumière visible photographier un objet quelconque éclairé par la lumière électrique.

C) *Absorption par les liquides.* — Cette question paraît en ce moment intéresser au plus haut point les savants qui se sont adonnés à l'étude des rayons ultra-violets. C'est qu'en effet elle constitue la base des applications pratiques de ces radiations. Aussi, pour apprécier la transparence ultra-violette des liquides, trois nouvelles méthodes sont nées en l'espace de quelques mois. Nous allons d'abord voir en quoi elles consistent; nous discuterons ensuite leur valeur.

Méthode synthétique.

La première en date est celle de Bordier (21). Dans cette méthode, la substance révélatrice de l'ultra-violet est le papier photographique ordinaire au citrate d'argent. L'appareil comporte une cuve en quartz à trois compartiments d'un centimètre d'épaisseur. Le quartz est épais de 0,5 millimètres. Pour s'assurer qu'il n'avait affaire qu'à de l'ultra-violet, il avait fait appliquer sur la lame de quartz représentant la face d'incidence de la cuve une demi-argentine suivant le procédé de Foucault. Cette mince couche d'argent avait pour but d'éliminer rayons infra-rouges et rayons lumineux. En arrière de la cuve, était collée une feuille opaque portant trois trous placés chacun en face des trois compartiments

de la cuve. Et derrière cette feuille opaque, était disposée chaque compartiment une égale irradiation, la lampe de la bande de papier révélateur. Enfin, pour assurer à Kromayer était placée à 40 ou 50 centimètres de la face d'incidence de la cuve.

Dans toutes ses expériences, l'auteur a comparé le degré d'impression photographique fourni par chaque substance expérimentée à celui du premier compartiment de gauche qui ne contenait que de l'eau distillée.

Avec ce dispositif, l'auteur a recherché la transparence ultra-violette de diverses substances liquides :

1° *Solutions salées incolores* (carbonate de lithium, chlorure de baryum, salicylate de soude, sublimé, etc.). Ces solutions donnent une impression photographique beaucoup plus faible que celle de l'eau distillée. Elles présentent donc une certaine opacité qui augmente avec leur concentration.

2° *Acides minéraux dilués*. Ils se comportent sensiblement comme les solutions précédentes.

3° *Liquides organiques incolores*, comme l'alcool, le chloroforme, le bromoforme, acétone, tétra-chlorure de carbone. A part l'alcool absolu, ces liquides sont beaucoup moins transparents que l'eau distillée.

4° *Corps se dissolvant dans ces liquides et donnant des solutions incolores*. Les choses se passent ici comme pour les solutions salées incolores : opacités diverses augmentant avec la concentration.

5° *Pseudo-solutions de corps à l'état colloïdal* (gomme arabique, albumine de l'œuf, gélatine). Ces substances absorbent manifestement l'ultra-violet et cette absorption est variable avec la quantité de matière colloïdale contenue dans l'unité de volume d'eau.

6° *Liquides de l'organisme* (liquide céphalo-rachidien, liquide pleurétique, liquide d'hydrocèle, urine, lait). L'absorption produite par ces substances est en rapport avec leur composition chimique. Le liquide céphalo-rachidien a une transparence un peu moins grande que celle de l'eau distillée; celui de la pleurésie est plus opaque; celui de l'hydrocèle l'est beaucoup plus encore; l'urine arrête totalement le faisceau; il en est de même du lait de vache et du lait de femme.

7° *Milieux de l'œil*. L'humeur vitrée de bœuf et de mouton récemment morts possède une transparence à peu près analogue à celle de l'eau distillée, quoique un peu moindre;

L'humeur aqueuse, quoique cette transparence n'ait pas été expérimentée, aurait une transparence analogue à celle du milieu précédent, car elle a une composition sensiblement identique;

La cornée de bœuf et de mouton a une opacité beaucoup plus marquée que celle de l'eau distillée. Détail intéressant, elle devient nettement fluorescente sous l'action des rayons de la lampe de Kromayer.

Tels sont, en résumé, les résultats que Bordier a obtenus avec sa méthode. Nous verrons un peu plus loin ce que nous devons en penser.

Méthode analytique.

α) *Méthode spectroscopique*. — Au Congrès de Toulouse du mois d'août dernier, J. Courmont, Nogier et Rochaix ont présenté une méthode permettant de déterminer rapidement sous quelle épaisseur un liquide est transparent pour une radiation violette ou ultra-violette de longueur d'onde donnée (43).

Dans une cuve de 60 centimètres et plus de longueur, dont une des faces est formée d'un quartz perpendiculaire à l'axe, on déplace une cuvette minuscule remplie d'une solution fluorescente (fluorescéine). Tant que les rayons ultra-violets traversent le liquide, ils déterminent la fluorescence du liquide de la cuvette.

L'observateur regarde la cuvette par la tranche, de façon à donner au phénomène tout son éclat dans l'obscurité.

La cuvette est portée par une platine mobile dans tous les sens de façon à explorer tout le spectre de l'arc au mercure (qui sert de source lumineuse).

Un dispositif ingénieux permet de repérer immédiatement sur le spectre lui-même préalablement photographié la position des diverses raies dont on étudie la pénétration dans le liquide.

De leurs premières expériences les auteurs concluent :

1° A la transparence de l'eau ordinaire et de l'alcool à 97° pour tout le spectre de la vapeur de mercure sous une épaisseur de 60 centimètres.

2° A l'absorption complète de tout l'ultra-violet dès $\lambda = 3.340 \text{ \AA}$. pour le bouillon peptoné, sous une épaisseur de 10 millimètres.

3° A l'absorption complète de tout le spectre violet et ultra-violet pour le vin blanc et le lait à partir de $\lambda = 4.960 \text{ \AA}$. sous une épaisseur de 10 millimètres.

β) Méthode spectrographique. — Au même Congrès, le professeur agrégé Nogier présentait de nombreuses déterminations spectrographiques de la transparence ultra-violette de divers liquides, obtenues à l'aide d'un spec-

trographe construit par lui de toutes pièces (82). Ces déterminations lui ont permis d'arriver aux conclusions suivantes :

1° La qualité des rayons ultra-violets transmis est caractéristique des divers liquides et permet de les identifier;

2° La qualité des rayons ultra-violets transmis est variable suivant la coloration et la richesse en colloïdes des diverses substances étudiées. Pour les unes (vin rouge), la coloration l'emporte sur la richesse en colloïdes; pour les autres (bouillon peptoné) la richesse en colloïdes l'emporte sur la coloration;

3° Des substances en apparence très voisines (huile de phoque et l'huile de foie de morue) peuvent avoir des spectres d'absorption ultra-violets très différents, d'où l'affectation possible de la méthode à la reconnaissance des fraudes;

4° Les huiles et les essences ont une transparence ultra-violette très faible : au point de vue pratique, leur stérilisation en couche supérieure à 1/10 de millimètre devient très problématique.

En couche de 10 millimètres, le vin blanc, les bouillons peptonés clairs ou colorés, la bière même blonde, le lait, le vin rouge ne sont pas transparents pour des rayons de longueur d'onde plus courte que $\lambda = 3.340 \text{ A}$. Ils ne peuvent par suite être stérilisés sous cette épaisseur.

5° Par contre, l'eau filtrée et préfiltrée, la glycérine, l'alcool sont très transparents et laissent passer d'abondantes radiations bactéricides (plus courtes que $\lambda = 3.000 \text{ A}$. sous une épaisseur de 10 millimètres.

Valeur relative de ces deux méthodes.

a) *Méthode de Bordier.* — Evidemment, Bordier s'est entouré de beaucoup de précautions pour mettre ses résultats à l'abri de toute erreur. Malheureusement, il a péché par excès de ce côté, car la demi-argenture dont il a recouvert la face incidente de sa cuve à trois compartiments n'est, comme nous l'avons vu, perméable que jusqu'à $\lambda = 3.019 \text{ \AA}$. En conséquence, l'auteur n'a étudié que beaucoup de violet et un peu d'ultra-violet, sans même atteindre les limites de l'ultra-violet solaire.

En second lieu, nous reprocherons à la méthode de M. Bordier de manquer de précision. Et tout d'abord il ne nous indique pas le degré de transparence de l'eau distillée qui lui sert de terme de comparaison. Quelque transparente que soit l'eau, même fraîchement distillée, elle est relativement opaque pour certaines portions du spectre ultra-violet, et l'on a prétendu qu'une couche de ce liquide d'un centimètre d'épaisseur arrêta 69 p. 100 des radiations de $1.860 \text{ \AA}$. Pour les autres substances, il se contente de nous dire qu'elles sont un peu plus ou beaucoup plus opaques que l'eau distillée. Evidemment, c'est déjà un résultat, mais il faut avouer que l'on serait encore désireux de connaître exactement au niveau de quelles radiations l'extinction du spectre ultra-violet a lieu, car, comme nous allons le voir, chaque radiation ultra-violette a des aptitudes un peu spéciales. Et M. Bordier ne paraît pas attacher à ce fait assez d'importance.

Quant au rôle considérable joué par les matières colloïdes et les couleurs dans la transparence ultra-violette des liquides, et très bien mis en lumière par la méthode

analytique, M. Bordier montre bien celui que joue le premier de ces facteurs, mais le second, il le laisse malheureusement de côté.

b) *Méthode analytique*. — Si nous mettons maintenant en regard de ce procédé un peu rudimentaire la méthode analytique de Nogier, Courmont et Rochaix, nous voyons immédiatement combien plus de perfection elle présente. Là, en effet, nous pouvons nous rendre compte du moindre détail : savoir jusqu'à quelle longueur d'onde va la transparence d'un liquide, à quelle épaisseur correspond une transparence donnée, etc. La méthode analytique est une méthode à la fois scientifique et pratique, quoique d'une application plus délicate.

ARTICLE IV. — *Quantitométrie des rayons ultra-violets*.

Nous serons assez bref sur ce sujet, la science paraissant considérer actuellement la qualité de la radiation et non la quantité. Il semble cependant qu'un tel genre d'appareil ait sa raison d'être, surtout en ce qui concerne les applications thérapeutiques. L'appareil de mesure idéal serait, à notre avis, celui qui enregistrerait à la fois la qualité et la quantité des radiations. Pour le moment, il n'en existe aucun; tous se bornent à indiquer l'effet total de l'ensemble.

Les appareils construits jusqu'ici dans le but de mesurer l'intensité des rayons chimiques sont nombreux. Nous ne ferons que citer l'actinomètre de Bunsen et Roscoe à H et Cl, l'actinomètre à acide oxalique et à perchlorure de fer de Marchand, l'actinomètre électrique de E. Becquerel modifié par Rigollot, celui de Marie, de

Toulouse, basé sur l'action des radiations chimiques sur le papier photographique, et enfin l'actinomètre Bordier-Nogier (77).

Ce dernier appareil est basé sur le principe suivant : si l'on intercale sur le chemin que doivent parcourir les rayons chimiques une solution colorée absorbant ces radiations, on conçoit facilement que plus la source actinique sera intense, plus il faudra une couche épaisse de solution colorée pour éteindre la fluorescence produite par les rayons ultra-violet. Les auteurs avaient, en effet, employé l'écran au platino-cyanure de baryum pour manifester la présence des radiations chimiques. De plus la face d'incidence de l'appareil était en quartz. Un dispositif à crémaillère permettait de déplacer facilement l'écran fluorescent dans la solution et de faire varier ainsi l'épaisseur de la couche d'absorption. La solution employée était du sulfate de cuivre ammoniacal, répondant à la composition suivante :

SO ⁴ Cu pur.....	100 grammes.
Ammoniaque.....	200 cent. cubes.
Eau.....	500 —

En terminant, nous allons décrire le chromoactinomètre de Bordier (20), dont le principe est le suivant : lorsqu'on expose aux radiations ultra-violettes de la lampe de quartz à vapeur de mercure une bande de papier buvard imbibé d'une solution de ferrocyanure de potassium à 20 p. 100, la couleur de la bande de papier ainsi imprégné passe du blanc à un jaune plus ou moins foncé avec tous les intermédiaires des jaunes crème et des jaunes soufre. L'auteur a pu établir une relation entre la

teinte prise et le temps nécessaire à l'obtention de cette teinte. Ainsi, il a pu étalonner les teintes prises par le réactif après des temps représentés par 1, 2, 4, 6, 12, 24, 36 secondes. Les teintes ainsi produites sont désignées par les numéros respectifs : 0, I, II, III, IV, V, VI.

La teinte I correspond à 1 milligramme de solution décimale d'azotate d'argent réduite par les rayons ultra-violet sous une épaisseur de 1 centimètre. Cette quantité lui a servi à établir l'unité de quantité des rayons ultra-violet qu'il définit ainsi :

L'unité de quantité de rayons ultra-violet est « la quantité de rayons ultra-violet qui agissant normalement sur une solution N/10 d'azotate d'argent et sur une épaisseur de 1 centimètre et capable de réduire 1 milligramme d'argent par centimètre carré ».

A l'aide de cette unité, l'auteur a pu donner un tableau qui exprime les relations de celle-ci avec les teintes prises pendant les divers temps.

Teinte	0.....	0,5 unités	
—	I.....	1	—
—	II.....	2	—
—	III.....	4	—
—	IV.....	6	—
—	V.....	12	—
—	VI....	18	—

Ces résultats sont obtenus évidemment avec une intensité de courant constante.

Voici maintenant les effets bio-chimiques des rayons ultra-violet, correspondant à chacune de ces teintes.

A la teinte 0 correspond un simple érythème qui apparaît dix à douze heures après l'insolation.

A la teinte III répond, après cinq à six heures, un érythème intense auquel succède une phlyctène demandant trois à quatre jours pour disparaître.

A la teinte IV correspond une rougeur qui ne tarde pas à se transformer en une vésication intense. Le tout se termine par une formation de croûtes en-dessous desquelles apparaît, dans les huit jours, une tissu cicatriciel rose et souple.

Enfin, un dernier détail des plus intéressants, signalé par l'auteur de cet appareil simple et ingénieux, c'est que l'intensité du rayonnement chimique de la lampe de Kromayer décroît avec l'âge de façon considérable.

Ainsi, pour faire virer à la teinte 0 le papier réactif au ferrocyanure de potassium, une lampe neuve met un temps égal à cinq secondes, une lampe ayant un an d'âge met quinze secondes, enfin, à une lampe ayant brûlé cinq cents heures environ, il faut trente-cinq secondes. Comme on peut facilement le concevoir, ces constatations sont grosses de conséquences.

ARTICLE V. — *Division de l'ultra-violet.*

Il importe, avant de terminer cette étude physique de l'ultra-violet, de le diviser en un certain nombre de groupements de radiations ayant des propriétés communes parfois distinctes. C'est pour avoir méconnu cette classification que certains auteurs ont publié sur l'ultra-violet des travaux ne se rapportant qu'à une portion de l'ultra-violet et non à ce spectre tout entier.

On peut diviser l'ultra-violet en trois parties principales :

1° L'ultra-violet ordinaire;

2° L'ultra-violet moyen;

3° L'ultra-violet extrême.

1° L'*ultra-violet ordinaire* va de 3.920 Å à 3.000 Å.

On l'appelle ainsi parce qu'il est révélé par les instruments ordinaires à prismes de verre. Il est produit par toutes les sources d'ultra-violet munies d'une enveloppe de verre ordinaire, telles que l'arc voltaïque entouré d'un globe de verre, lampe de Cooper-Hewitt, le tube de Geissler quand les gaz qu'il renferme possèdent des raies dans cette portion du spectre.

L'ultra-violet ordinaire provoque la phosphorescence des sulfures de zinc, de calcium, la fluorescence du sulfate de quinine, de l'esculine, de la fluorescéine, du verre d'urane, des platino-cyanures et, en particulier, de celui du baryum. Il est capable d'actions chimiques importantes (décomposition des sels d'or, d'argent, de platine, combinaison du chlore avec l'hydrogène, blanchiment des couleurs végétales, action photographique). Il décharge les corps électrisés négativement, mais avec lenteur. Au point de vue physiologique, c'est lui qui, à la longue, provoque le hâle de la peau. Il n'est pas nuisible pour l'œil, enfin, il est à peine bactéricide. Les rayons de cette portion du spectre ultra-violet constituent une catégorie bien distincte, celle des rayons *biotiques*, par opposition aux rayons *abiotiques* de Dastre, dénomination qui ne s'applique qu'aux rayons des groupes suivants. Non seulement les rayons ultra-violet ordinaires ne sont pas nuisibles pour les êtres vivants et ne sont pas un facteur de destruction, mais ils rendent la vie possible à la surface du globe. « Ce sont eux qui ont amené, au cours des périodes géologiques, la formation des

forêts colossales, origine de la houille, que nous utilisons aujourd'hui. Et lorsque nos foyers absorbent ce combustible, c'est de l'ultra-violet solaire vieux de plusieurs millions d'années que nous dépensons sans réfléchir. Ce sont ces rayons ultra-violet que tous les végétaux captent encore de nos jours, grâce à la fonction chlorophyllienne (80).

2° L'ultra-violet *moyen* va de 3.000 Å. à 2.225 Å., c'est-à-dire jusqu'aux limites du spectre du mercure. Ses sources sont l'arc voltaïque à feu nu, les arcs flambants au cadmium et au zinc, et surtout la lampe en quartz à vapeur de mercure. Comme nous le savons, ces sources donnent le spectre ultra-violet jusqu'à 2.225 Å. pour la lampe à vapeur de mercure et même jusqu'à 2.138 Å pour l'arc flambant au zinc.

L'ultra-violet *moyen* possède, au point de vue physique et chimique, les propriétés de l'ultra-violet ordinaire, mais à un degré bien supérieur. Il décharge en particulier très rapidement les corps électrisés négativement. C'est avec l'ultra-violet moyen que commencent les *rayons abiotiques* de Dastre.

L'ultra-violet moyen est, en effet, doué d'un pouvoir nécrotique considérable soit pour les cellules animales, soit pour les cellules végétales. C'est à lui que l'on doit les graves lésions du segment antérieur de l'œil que nous apprendrons à connaître. Comme nous le verrons aussi, c'est lui qui jouit des propriétés bactéricides les plus intenses.

3° L'ultra-violet *extrême* va de 2.225 Å à 1.000 Å environ. Il tire son origine des arcs flambants au fer et à l'aluminium et surtout des tubes de Lyman.

Il possède, comme l'ultra-violet moyen, la propriété d'exciter les phénomènes de fluorescence et de phosphorescence, de produire des réactions chimiques, d'impressionner la plaque photographique; mais, si on impressionne une plaque à émulsion épaisse, on s'aperçoit que l'action est toute en surface: leur action sur l'œil est aussi très énergique, mais sans profondeur. Il en est de même de leur action bactéricide qui, quoique très intense, est très limitée. En un mot, ce sont des radiations extrêmement absorbables. Le quartz et l'eau même en couche mince les arrêtent au-dessous de 1.860 Å. Il en est de même pour les gaz.

De ce qui précède, il résulte que la zone d'action optimale de l'ultra se trouve entre 2.900 Å. et 2.225 Å. C'est-à-dire dans les limites du spectre du mercure. En effet, les rayons de cette zone sont suffisamment pénétrants et très actifs soit au point de vue des actions bactéricides, soit au point de vue thérapeutique, en un mot de toutes les applications pratiques. Il est inutile de rechercher des rayons de très courte longueur d'onde, puisque leur action est tout entière en surface et que le moindre obstacle gaz ou liquide même transparent à l'œil, suffit pour les faire disparaître par absorption.

DEUXIÈME PARTIE

ACTION DES RAYONS ULTRA-VIOLETS SUR LES CORPS CHIMIQUES

Deux noms sont intimement liés à cette étude née d'hier : ce sont ceux de MM. Daniel Berthelot et Henri Gaudechon. Ces deux savants ont, en quelques mois, poussé très loin leurs recherches sur l'action qu'exercent les radiations du spectre ultra-violet sur les divers corps chimiques, créant ainsi à la science une nouvelle voie, qui promet des résultats merveilleux.

CHAPITRE PREMIER

Action de l'ultra-violet sur les corps de la chimie minérale.

ARTICLE I. — *Action de l'ultra-violet sur l'hydrogène
et ses composés.*

1^o Synthèse du gaz acide chlorhydrique.

La préparation synthétique du gaz acide chlorhydrique par union directe de l'hydrogène au chlore sous l'in-

fluence de l'ultra-violet solaire constitue une vieille expérience de laboratoire bien connue. Il serait cependant intéressant de connaître quelles modifications pourrait apporter au phénomène l'action d'une source d'ultra-violet plus étendu. Nous ne croyons pas que l'expérience ait été tentée encore.

2^e Action sur l'eau.

a) Formation du peroxyde d'hydrogène (eau oxygénée).

— La transformation des rayons ultra-violet a été, il y a quelques mois seulement, un grand sujet de controverse. Les uns, parmi lesquels J. Courmont, Th. Nogier et Rochaix, soutenaient avec preuves à l'appui, que l'irradiation de l'eau par la lampe de quartz à vapeur de mercure ne peroxydait pas l'eau; d'autres, avec Miroslaw Kernbaum, Van Aubel et Maurice Lombard, apportaient des preuves non moins convaincantes tendant à démontrer le phénomène inverse.

MM. Courmont, Nogier et Rochaix, après une irradiation de *vingt minutes* avec une lampe en quartz à vapeur de mercure immergée dans l'eau, n'ont pu déceler dans ce liquide la moindre trace d'eau oxygénée à l'aide des réactifs suivants : solution d'iodure de potassium amidonné, chlorhydrate de métaphénylène-diamine en solution ammoniacale, réactif molybdique décoloré par une goutte de solution de permanganate de potassium (42).

MM. Miroslaw Kernbaum, Van Aubel et Maurice Lombard ont été plus heureux, mais aussi, il faut l'avouer, après de plus longues irradiations. Le premier a exposé dans un récipient de quartz 15 centimètres cubes d'eau distillée préalablement bouillie à l'insolation par une lam-

pe à mercure. Après dix heures d'exposition il a pu constater un dégagement gazeux provenant de l'eau. Ce dégagement, qui semblait d'abord augmenter proportionnellement à la durée de l'exposition, s'est ensuite modéré, pour s'arrêter bientôt complètement, si bien que pendant les dernières heures de l'expérience, la pression est restée constante dans le manomètre qui servait à apprécier le dégagement gazeux.

Le gaz obtenu fut reconnu pour de l'hydrogène. En même temps, l'auteur a pu mettre en évidence la présence dans l'eau de peroxyde d'hydrogène qu'il a révélé par les moyens suivants :

1° Coloration bleue d'une solution d'iodure de potassium amidonnée et additionnée de quelques gouttes de SO^4Fe .

2° Coloration jaune de l'acide titanique dissous dans l'acide sulfurique dilué.

3° Décoloration du permanganate de potassium en solution légèrement acidulée avec de l'acide sulfurique.

Pour cet auteur, les rayons ultra-violets décomposeraient donc l'eau, et cette décomposition aurait lieu suivant le même mode anormal qu'il a constaté pour les rayons β du radium, et pour lesquels il propose la formule suivante (65-66) :



Van Aubel, un peu plus tard, aboutissait aux mêmes conclusions en procédant de la façon suivante : sous un même globe en verre il plaçait à la fois et à une distance de 25 centimètres l'une de l'autre, une lampe en quartz à vapeur de mercure et une capsule de porcelaine contenant de l'eau distillée. Après *quatorze heures d'irradia-*

tion de ce liquide et après refroidissement, il pouvait y déceler la présence d'eau oxygénée au moyen de la plaque photographique, qui, paraît-il, constitue un réactif des plus sensibles à l'action du peroxyde d'hydrogène (3).

Quelques mois après, Maurice Lombard venait encore compliquer le problème en faisant entrevoir que la mise en liberté de l'iode, dans le phénomène de coloration en bleu de la solution d'iodure de potassium, que les auteurs précédents attribuaient à l'action de l'eau oxygénée formée dans l'eau irradiée, pourrait bien être due aussi à l'action des nitrites formés par réduction des nitrates. Il a, en effet, montré que de l'eau distillée additionnée de 20 milligrammes d'azotate de potassium au litre donne, au bout d'un temps d'insolation variant de cinq à dix secondes, des traces de nitrites, qui, quoique infimes (moins de 0 milligramme 1 au litre), sont cependant parfaitement nettes au réactif à l'acide sulfanilique et la naphtylamine.

Néanmoins, M. Maurice Lombard se montre conciliant et il admet comme parfaitement acceptables les conclusions de Mirosław Kernbaum. Peut-être même que l'hydrogène mis en liberté suivant la formule de M. Kernbaum :



serait l'agent réducteur des nitrates.

M. Maurice Lombard va plus loin encore, il cherche, avec raison du reste, à réconcilier les deux opinions contraires. De l'eau traitée ne contenant pas de nitrites lui a donné une décoloration du permanganate de potassium en liqueur acide, et une coloration de l'iodure de potassium amonnié. Quoique faibles, ces réactions paraissent suffisamment nettes. Mais, pour « des temps brefs », l'aci-

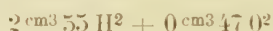
dé titanique ne lui a rien donné. Bien que l'auteur ne nous dise pas la durée de ces irradiations de façon précise, il semble cependant nous faire comprendre que celles où la réaction a été négative ont été beaucoup plus courtes que celles où la réaction fut positive (71).

La contradiction de ces deux opinions adverses n'est, en effet, qu'apparente. Elle résulte surtout de ce que les partisans de l'une et de l'autre sont partis d'un point de vue différent. Ceux qui nient la production de H^2O^2 dans l'eau par l'action des rayons ultra-violets ont voulu montrer avant tout que les résultats pratiques qu'ils obtenaient par l'action de quelques secondes de ces radiations sur l'eau n'étaient pas produites par l'eau oxygénée. Dès lors, qu'avaient-ils besoin de prolonger longtemps l'action des rayons ultra-violets pourvu que pendant un temps largement supérieur à celui nécessaire à la stérilisation de l'eau, ils puissent montrer que ce résultat n'était pas dû à l'eau oxygénée. Or, d'après les expériences de Lombard, il semble que la durée de l'irradiation de l'eau constitue un facteur de premier ordre dans la production d'eau oxygénée dans ce liquide. Du reste, Kernbaum et Van Aubel, qui ont recherché systématiquement la formation de ce corps dans l'eau irradiée, ont fait durer longtemps l'action de l'ultra-violet. Kernbaum l'a prolongée jusqu'à quarante-cinq heures, quoique cependant la durée moyenne d'exposition dans ces diverses expériences semble avoir été de dix à quinze heures, ce qui représente un chiffre déjà respectable, si l'on songe que MM. Courmont, Nogier et Rochaix n'ont pas excédé vingt minutes dans leurs expériences.

En conséquence, il nous semble que la formation d'eau oxygénée dans l'eau irradiée par la lampe en quartz à

vapeur de mercure ne fait aucun doute, à condition que l'action des rayons ultra-violetts soit prolongée longtemps. Cette production de peroxyde d'hydrogène s'effectue par décomposition de l'eau suivant le mode anormal indiqué par Kernbaum. Enfin, l'hydrogène mis en liberté pourrait réduire les nitrates contenus dans l'eau, ainsi que l'admet Maurice Lombard.

b) *Synthèse de l'eau.* — D. Berthelot et H. Gaudechon l'ont réalisée par deux procédés différents. Elle se produit d'abord facilement, comme nous le verrons plus loin, au contact de l'oxygène avec l'hydrogène naissant dégagé par l'ammoniaque. Ils ont aussi pu la réaliser par l'union de ces éléments à l'état libre, mais alors avec une action suffisamment intense et prolongée. Un mélange répondant à la composition :



après treize heures d'insolation à une très courte distance de la source d'ultra-violet se trouve réduit à 1 cc. 33 uniquement composé d'hydrogène. Les parois du tube de quartz sont couvertes de gouttelettes d'eau (11).

c) *Décomposition de la vapeur d'eau.* — C'est encore à MM. D. Berthelot et H. Gaudechon qu'on la doit. Pour atteindre ce but, ces auteurs ont fait agir la lampe à mercure sur un mélange de vapeur d'eau et d'oxyde de carbone. Après l'irradiation, le mélange contenait de l'anhydride carbonique, de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène. Une certaine quantité d'oxyde de carbone avait fixé l'oxygène de l'eau pour former de l'anhydride carbonique, et mis l'hydrogène en liberté. Ce que l'on pourrait représenter par la formule suivante (11) :



ARTICLE II. — *Action de l'ultra-violet sur l'oxygène et sur l'air. — Polymérisation de l'oxygène. — Formation d'ozone.*

1^{re} *Action sur l'oxygène pur.*

MM. Dapicel Berthelot et Henri Gaudechon, à l'aide d'une lampe en quartz à vapeur de mercure (modèle Herroux 110 volts), ont irradié un tube de quartz d'environ 0 millimètre 6 d'épaisseur, contenant de l'oxygène pur et desséché à une pression voisine de 75 centimètres.

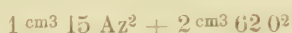
Ce tube était placé à 5 ou 8 centimètres de la lampe. L'irradiation avait une durée d'une heure et demie. Le volume initial était égal à 2 cc. 93; le volume final n'était plus que de 2 cc. 88. L'oxygène s'était donc contracté dans une proportion égale à 1,7 p. 100. L'ozone produit avait fortement oxydé la surface du mercure (8).

Ces auteurs ayant ensuite augmenté l'intensité de l'irradiation en employant d'abord un modèle de source d'ultra-violet plus puissant (Westinghouse 220 volts), ensuite en rapprochant le tube de quartz de la lampe et en augmentant la durée de l'exposition à la lumière ultra-violette, ont pu augmenter parallèlement la production d'ozone. Ils ont, en effet, montré que, dans ces conditions, la contraction du gaz était de 2,8 p. 100, qu'il était capable d'oxyder une lame d'argent et exhalait une forte odeur d'ozone.

2^o *Action sur l'oxygène mélangé à l'azote.*

Cette action diffère sensiblement suivant que c'est l'oxygène ou l'azote qui prédomine dans le mélange (10).

α) Mélange contenant une plus grande quantité d'oxygène que d'azote. — Berthelot et Gaudechon ont fait agir leur lampe de 110 volts sur le tube de quartz placé successivement à 4 centimètres, à 6 centimètres et à 8 centimètres de cette source lumineuse. Le mélange de gaz qu'il contenait répondait à la composition suivante :



L'irradiation, qui a duré une heure pour chacune de ces distances n'a pas produit de variation de volume appréciable, et le mercure n'a été que très légèrement oxydé.

La formation d'ozone paraît donc entravée par la présence de l'azote (10).

β) Mélange contenant une plus forte proportion d'azote que d'oxygène. — *Action de l'ultra-violet sur l'air.* — L'action contrariante de l'azote sur la polymérisation de l'oxygène se manifeste ici encore plus nettement.

Les mêmes auteurs ont, en effet, montré que quelle que soit la durée d'irradiation (une heure à deux heures et demie), que quelle que soit la distance du mélange à la lampe (2,5 et 8 centimètres), que quelle que soit enfin la teneur de l'air en vapeur d'eau (dessiccation parfaite ou saturation), on n'obtient aucune variation de volume, ni aucune production de vapeur nitreuse ou d'ozone, et que le mercure n'est pas oxydé (10).

Les éléments constitutifs de l'air semblent donc n'être nullement modifiés par l'action des rayons ultra-violets. Ces résultats concordent avec ceux obtenus dès 1908 par MM. Bordier et Nogier. Ces auteurs, ayant placé devant la fenêtre de quartz de la lampe de Kromayer un enton-

noir de même grandeur que cette ouverture, aspiraient l'air irradié dans l'entonnoir et le faisaient barboter dans un flacon renfermant de l'eau distillée. Après plusieurs heures d'aspiration, cette eau fut remise au professeur agrégé Moreau qui, malgré la sensibilité des réactifs employés, n'y put déceler la moindre trace soit d'ozone, soit de produits nitreux (26).

Un peu plus tard, MM. J. Courmont, Nogier et Rochaix arrivaient à des résultats identiques en ce qui concerne l'eau (41).

Quoi qu'il en soit, Van Aubel n'admet pas ces conclusions. Pour lui, l'ozonisation de l'air par la lampe de quartz à vapeur de mercure est un fait certain et il le démontre de la façon suivante : Tout d'abord, il n'emploie pas l'eau comme dissolvant de l'ozone, car ce corps agit sur l'eau pour la transformer en eau oxygénée. L'huile d'olive, employée par cet auteur, dissout, au contraire, très facilement l'ozone. Une capsule de porcelaine contenant cette dernière substance, ainsi qu'une lampe en quartz à vapeur de mercure de la Allgemeine Elektrizitäts gessellschaft sont placées sous un même globe de verre, à environ 25 centimètres l'une de l'autre. Au bout de deux heures et quart, l'huile est complètement décolorée ; on la retire du globe et on laisse refroidir. Après cela, une prise d'essai est agitée avec une solution d'iodure de potassium amidonnée. Au bout de quarante-cinq minutes, le réactif est devenu complètement bleu. L'huile d'olive non irradiée n'a donné aucune coloration dans ces conditions, même après plusieurs heures (31).

D'autres expériences faites avec du pétrole et de l'eau comme dissolvants de l'ozone, ou même simplement avec

du papier filtre imbibé de solution d'iodure de potassium amidonné, ont donné des résultats également concluants.

Que conclure en présence d'une telle divergence de résultats ? La conciliation de faits aussi contradictoires paraît bien difficile. Nous ne pouvons, en effet, en appeler à la différence des durées de l'irradiation de l'air; elles ont été, dans chacune de ces expériences, sensiblement les mêmes; nous ne pourrions pas davantage invoquer la sensibilité des dissolvants, puisque l'eau a donné des résultats contradictoires à ces divers auteurs. Tout ce que nous pouvons faire, c'est de constater avec MM. Berthelot et Gaudechon que l'oxygène pur se polymérise plus facilement, quoique en faibles proportions, qu'en présence de l'azote, et que le rôle retardant joué par ce corps paraît être fonction directe de la proportion qu'en renferme le mélange.

ARTICLE III. — *Action des rayons ultra-violets sur les composés oxygénés du soufre : anhydride sulfureux.*
— *Production des sulfates.*

L'ultra-violet ne saurait avoir une action sur le soufre lui-même en raison de son opacité. Tout au plus, s'il en existait une, serait-elle de surface. Aussi, les savants ne se sont occupés que des composés, et, parmi ceux-ci, l'anhydride sulfureux a été seul étudié jusqu'ici. Comme la plupart des précédentes et même de celles qui suivront, cette étude est due à MM. D. Berthelot et H. Gaudechon.

Dans leurs expériences, l'action de la lampe de quartz à vapeur de mercure sur le tube contenant l'anhydride sulfureux pur et desséché a été expérimentée à des dis-

tances différentes (2,5 et 8 centimètres), et, à chacune de ces distances, pendant des durées différentes (d'une heure à deux heures et demie).

Le volume initial était 2 cc. 38;

Le volume final est devenu 2 cc. 20.

Le gaz résiduel, entièrement absorbable par KOH, est donc complètement constitué par de l'anhydride sulfureux sans oxygène. De plus, la surface du mercure était recouverte d'une croûte saline qui, dissoute dans l'eau, donne un précipité avec le chlorure de baryum en solution acide : il y a eu production de sulfate de mercure. Enfin sur la paroi du tube de quartz se voit un dépôt blanchâtre, volatilisable par la chaleur, avec dégagement de l'odeur âcre de l'anhydride sulfureux; il s'agit donc d'un dépôt de soufre (10).

L'adjonction d'un certain volume d'oxygène à celui de l'anhydride sulfureux modifie peu le phénomène. Le gaz résiduel contient de l'anhydride sulfureux et de l'oxygène; à la surface du mercure, on remarque encore une petite croûte de sulfate. Mais, ce qui devient très curieux, c'est que la présence d'un excès d'oxygène n'ait point fait disparaître le dépôt de soufre formé sur les parois du tube.

La production d'acide sulfurique aux dépens de l'anhydride sulfureux sous l'influence des rayons ultra-violets est devenue, paraît-il, un procédé industriel.

ARTICLE IV. — *Action de l'ultra-violet sur les composés de l'azote.*

1^o Action sur les composés oxygénés.

La synthèse des composés oxygénés de l'azote paraît actuellement irréalisable par les rayons ultra-violets.

Comme nous l'avons déjà vu, MM. Berthelot et Gaudechon, en irradiant, avec la lampe de quartz à vapeur de mercure, un mélange d'azote et d'oxygène, soit que les proportions de ce dernier élément soient plus faibles (air), soit qu'elles aient été plus grandes que celles de l'azote, n'ont jamais pu provoquer la formation de vapeurs nitreuses. Les expériences de Bordier, Nogier et Moreau confirment pleinement ces résultats.

En cela, l'ultra-violet se comporte autrement, font remarquer Berthelot et Gaudechon, que l'étincelle et l'arc électriques qui, comme on le sait, combinent ces gaz secs ou humides, en donnant les divers composés oxygénés de l'azote. De même, l'effluve électrique a la propriété de donner, avec les gaz humides, uniquement de l'acide azotique (10).

a) *Action sur le protoxyde d'azote. — Production des nitrates et des nitrites.* — Le tube de quartz dont MM. Berthelot et Gaudechon se sont servis dans toutes leurs expériences sur les corps gazeux, est soumis à l'action de leur lampe de 110 volts pendant quatre heures et demie, à une distance de 2 centimètres, et pendant deux heures à 70 centimètres.

Le volume initial de Az^2O était égal à 1 cc. 76, le volume final a 1cc. 60. Le gaz résiduel ne contenait ni oxygène, ni bioxyde d'azote; il était uniquement composé de 0 cc. 29 de Az^2O + 1 cc. 31 d'azote libre. Il a donc disparu 1 cc. 47 de protoxyde d'azote, qui ont donné 1 cc. 31 d'azote libre, plus 0 cc. 46 d'azote fixé sur le mercure, plus enfin 0 cc. 73 d'oxygène fixé sur le mercure. La surface de celui-ci, est, en effet, recouverte d'un sel blanc,

qui dissous dans l'eau distillée donne avec le sulfate de diphenylamine une coloration violette (nitrites ou nitrates), avec le réactif de Griess une coloration rose (nitrites), et enfin avec le réactif de Granval et Lejoux une légère coloration jaune (nitrates). Le sel qui s'est ainsi formé est donc du nitrite de mercure mélangé d'oxyde et d'une faible quantité de nitrate. -

Les auteurs ont montré que l'éloignement de la lampe diminue la production de ces différents sels. Ils ont également montré que l'addition d'oxygène au protoxyde dans les proportions de 2 cc. 40 Az_2O + 2 cc. 00 O_2 ne modifie pas essentiellement le phénomène : on note seulement que les vapeurs nitreuses apparaissent plus vite et persistent pendant toute l'expérience. Avec un tel mélange gazeux, les volumes des gaz fixés sur le mercure sont dans le rapport de 40 d'azote à 115 d'oxygène.

MM. Berthelot et Gaudechon résument enfin ainsi la réaction qui s'est effectuée : Le protoxyde d'azote s'est décomposé sous l'influence de l'ultra-violet en azote et oxygène; l'oxygène s'est porté sur le protoxyde non décomposé qu'il a transformé en oxydes supérieurs de l'azote, lesquels ont attaqué le mercure (10).

b) *Action sur le bioxyde d'azote.* — Ces mêmes auteurs ont ensuite irradié avec leur même lampe de 110 volts le tube de quartz contenant 3 cc. 83 de AzO . Après trois heures d'exposition à 3 centimètres de distance de la lampe le volume final n'était plus que de 3 cc. 27 ainsi composés :



Le mercure avait été fortement attaqué, et une couche

d'oxyde, de nitrite et de nitrate de mercure recouvrait sa surface.

« En résumé, disent Berthelot et Gauduchon, sous l'influence des rayons ultra-violet, dans les conditions des expériences précédentes, l'oxygène n'oxyde par l'azote libre, ce qui peut tenir à ce que la réaction étant fortement endothermique, les rayons ne sont pas aptes à fournir l'énergie en quantité voulue ou au potentiel chimique nécessaire à la combinaison. Par contre, les rayons ultra-violet déterminent la peroxydation du protoxyde d'azote et du bioxyde d'azote : réactions presque indifférentes au point de vue thermique ou même exothermique (10). »

2° Action sur les composés hydrogénés. — Combustion de l'ammoniaque.

Berthelot et Gauduchon, au moyen de leur lampe de 220 volts, irradient pendant deux heures un mélange dont le volume initial égal à 3 cc. 80, était ainsi composé : 2 cc. 29 d'ammoniaque et 1 cc. 51 d'oxygène.

Après ces deux heures d'insolation à 4 mètres de distance de la grosse lampe, le volume initial s'était réduit à 1 cc. 65 composé de : azote, 1 cc. 10, et hydrogène, 0 cc. 55.

La surface du mercure était légèrement oxydée, et la paroi du tube, couverte d'eau contenant en dissolution de l'ammoniaque. La vérification au sulfate de diphénylamine ne révélait ni nitrites, ni nitrates. Le point de fusion du liquide qui recouvrait les parois du tube de quartz était voisin de 0° : il s'agissait donc bien d'eau.

D'autres expériences faites avec des proportions d'oxygène et d'ammoniaque différentes ont produit des résultats analogues.

Berthelot et Gaudechon avaient ainsi réalisé du même coup la décomposition de l'ammoniaque en hydrogène et azote, et la synthèse de l'eau, dont nous avons déjà fait mention. Sous l'influence des rayons ultra-violets, l'hydrogène s'est dégagé de l'ammoniaque à l'état naissant, et, oxydé par l'oxygène libre, il s'est transformé en eau.

Ces résultats sont particulièrement intéressants en ce qu'ils montrent nettement le pouvoir spécial de l'hydrogène à l'état naissant. Car, comme l'ont montré les auteurs, les rayons ultra-violets n'ont qu'une faible action sur un mélange d'oxygène et d'hydrogène à l'état libre (9).

ARTICLE V. — *Action de l'ultra-violet sur les composés du carbone.*

L'on ne peut, en raison de l'opacité du carbone, envisager une action chimique sur ce corps à l'état naturel, ni même sa combinaison directe avec les divers autres corps simples. Tout au plus pourrions-nous parler d'une aptitude spéciale de ces radiations à provoquer la fluorescence d'une des modalités particulièrement rares du charbon à l'état naturel, nous voulons parler du diamant, quoique, à vrai dire, il s'agisse plutôt d'une action d'ordre physique que d'une influence d'ordre chimique. C'est pourquoi, avec la plupart des auteurs qui se sont occupés de la question, nous bornerons-nous à l'étude de l'ultra-violet sur les composés de ce métalloïde.

Toutefois, pour nous conformer à l'usage qui veut qu'on place les composés hydrogénés du carbone parmi les corps de la chimie organique, nous ne nous occupa-

rons ici que des composés oxygénés. Cette étude, que nous devons encore à MM. Berthelot et Gaudechon, a une très grande portée, comme nous le verrons un peu plus loin.

1° Action sur l'anhydride carbonique.

Les auteurs précités ont montré que CO^2 soumis à l'action des rayons ultra-violets montre une faible décomposition en oxyde de carbone et oxygène. Pour manifester ces deux produits de décomposition, il ont eu recours au phosphore (soustrait à l'action des radiations chimiques) qui absorbe facilement l'oxygène libre en laissant l'oxyde de carbone. La réaction avait lieu en présence de ce corps. Ils ont aussi employé l'hydrogène, qui donnait de l'eau avec l'oxygène, et avec l'oxyde de carbone, de la formaldéhyde, comme nous allons le voir (11).

2° Action sur l'oxyde de carbone.

Nous ne sachons point que l'ultra-violet ait sur l'oxyde de carbone seul une action analogue à celle qu'il produit sur son homologue supérieur. Cela n'empêche pas que CO est un corps des plus intéressants à étudier dans ses rapports avec l'ultra-violet, mais seulement quand il est mélangé avec l'hydrogène ou l'oxygène. A partir de ces deux gaz et de CO, MM. Berthelot et Gaudechon ont réalisé, sous l'influence de l'ultra-violet, deux synthèses des plus importantes.

a) *Action sur le mélange d'oxyde de carbone et d'hydrogène. — Synthèse de la formaldéhyde.* — Un mélange de 2 cc. 02 CO + 1 cc. 73 H^2 est réduit, après treize heu-

res et demie d'irradiation, à 1 centimètre 5 de la lampe, à un volume de 1 cc. 65, composé de CO et de H². Le tube est couvert de gouttelettes solidifiées d'aldéhyde formique polymérisé précipitant l'azotate d'argent ammoniacal, et donnant un précipité blanc avec le réactif de Tollens (eau d'aniline). Il n'y a pas de traces d'acide. La synthèse de l'aldéhyde formique se trouve donc réalisée par un procédé nouveau. Nous verrons plus loin que ce résultat est de la plus haute importance (11).

b) *Action sur le mélange d'oxyde de carbone et d'oxygène.* — *Synthèse de l'acide carbonique.* — Berthelot et Gaudechon ont également obtenu la synthèse de l'acide carbonique par les rayons ultra-violets. Ils partaient d'un mélange initial composé de 1 cc. 95 CO + 0 cc. 63 O². Après une irradiation de onze heures et demie à 1 centimètre de la lampe de 110 volts, le mélange avait changé de composition. Il s'était formé 0 cc. 48 d'anhydride carbonique (11).

CHAPITRE II

Action de l'ultra-violet sur les divers corps de la chimie organique.

Dans ce chapitre, comme nous l'avons fait dans le précédent, nous suivrons l'ordre généralement adopté. Nous allons ainsi reprendre immédiatement l'étude de l'action de l'ultra-violet sur les composés du carbone. Elle a clos le chapitre précédent, elle commencera celui-ci.

ARTICLE PREMIER. — Action de l'ultra-violet sur les hydrocarbures.

A. ACTIONS DE POLYMÉRISATION.

Cette étude, comme la plupart des précédentes, a été faite par MM. Berthelot et Gaudechon. Ces deux savants ont montré que dans ce groupe de composés, les effets chimiques de l'ultra-violet consistaient à peu près exclusivement en actions de polymérisation (9).

Dans leurs expériences, ils ont employé soit la lampe à 110 volts (Hercus), soit celle à 220 volts (Westinghouse). Les gaz ont été soigneusement desséchés et enfermés dans le tube de quartz que nous connaissons déjà aussi.

1^o Polymérisation de l'acétylène.

a) Acétylène seul. — Le tube de quartz était placé à des distances de la lampe variant de 2 à 8 centimètres. Pour

chacune de ces distances la durée de l'irradiation était d'une heure. Dans tous les cas, la contraction fut de 16 p. 100 (vol. initial : 2 cc. 60; vol. final : 2 cc. 18). Au bout de quelques instants, on notait un brouillard dans le tube, puis à la surface tant du mercure que du tube, se déposait une couche solide, progressivement croissante, présentant les colorations des lames minces. Mais l'action chimique d'abord rapide ne tardait pas à se ralentir et finalement par s'arrêter, par suite de l'opacité parallèlement croissante du dépôt tapissant les parois du tube.

Ce précipité de couleur jaune fauve présentait nettement l'odeur spécifique des polymères de l'acétylène formés par action de l'effluve sur ce gaz. L'analyse du gaz résiduel complètement absorbable par le chlorure cuivreux ammoniacal indiquait nettement que la polymérisation s'était effectuée sans décomposition de l'acétylène. Enfin, il n'y avait pas la moindre trace de benzène liquide.

Le phénomène de la polymérisation de l'acétylène par l'ultra-violet est nettement favorisé, ainsi que vont le montrer les expériences suivantes, soit par la diminution de la tension, qui rend les gaz meilleurs conducteurs, soit par l'adjonction d'un gaz inerte qui agit en diminuant la tension propre du gaz actif, soit enfin par l'action simultanée de ces deux facteurs (8).

β) *Acétylène et hydrogène*.— Le volume initial, 1 cc. 80, était ainsi composé : 0 cc. 97, C^2H^2 + 0 cc. 85 H^2 .

Le volume final égal à 1 cc. 49 était constitué par 0 cc. 65 C^2H^2 + 0 cc. 84 H^2 .

Nous remarquons ici que la tension propre de l'acéty-

lène est mointé moindre que celle de l'expérience précédente, et ensuite que nous retrouvons l'hydrogène à peu près complètement à l'état libre; il a donc joué le rôle de corps inerte. Si maintenant nous considérons la contraction, nous la trouvons exactement doublée, c'est-à-dire égale à 33 p. 100. On peut donc dire que la contraction de l'acétylène croît en raison inverse de sa tension (8).

Comme précédemment, les parois du tube sont tapissées par un dépôt jaune fauve.

γ) *Acétylène et azote*. — Le tube a été soumis pendant quatre heures et demie à l'action de la lampe à 110 volts, à une distance moyenne de 5 centimètres. Le volume initial égal à 3 cc. 14 et composé de 1 cc. 68 C^2H^2 + 1 cc. 46 Az^2 a été réduit à 2 cc. 72. L'azote est resté intact, sans production de cyanogène. Le volume de C^2H^2 a été réduit de 0 cc. 42, ce qui correspond à une contraction de 25 p. 100. Comme on le voit, ici la contraction a été moins accentuée que dans l'expérience précédente, quoique cependant considérable. Mais aussi la tension propre de C^2H^2 était plus grande (8).

2° Polymérisation de l'éthylène.

α) *Ethylène seul*. — Le tube a été soumis à l'action de la lampe de 220 volts pendant deux heures. La contraction a été de 11 p. 100 (vol. initial : 2 cc. 77; vol. final ; 2 cc. 42). Le gaz résiduel a été reconnu pour de l'éthylène pur, au moyen de la combustion et par addition de potasse et de pyrogallol. Le polymère formé est un liquide cirieux, exhalant une forte odeur de graisse rance et bouillant un peu au-dessous de 100°. Ce corps rappelle le caprylène ou les corps homologues obtenus par décomposition pyrogénée des cires (8).

La durée de l'exposition et le rapprochement de la source lumineuse paraissent augmenter la contraction.

β) Mélange d'éthylène et d'acétylène. — Le tube est soumis au rayonnement de la lampe à 220 volts, pendant deux heures, et à 4 centimètres de distance. Le volume initial, égal à 3 cc. 32, est composé ainsi : 1 cc. 52 C^2H^2 + 1 cc. 70 C^2H^4 . Volume final : 2cc. 36; contraction : 36 p. 100.

Le tube de quartz est tapissé d'un enduit solide jaune fauve, présentant un aspect identique au polymère de l'acétylène, ainsi que d'un autre enduit gras entraînable par la chaleur au-dessus de 100° sous forme de vapeurs lourdes exhalant une odeur rance, tout comme le produit de polymérisation fourni par l'éthylène seul (8).

B. OXYDATIONS DES HYDROCARBURES. — SYNTHÈSE DE L'ACIDE FORMIQUE.

Si l'on mélange aux hydrocarbures de l'oxygène libre, ce corps empêche la polymérisation, et la réaction aboutit à la production d'acide formique.

α) Mélange d'acétylène et d'oxygène. — Le tube de quartz contenant le mélange est soumis, à 3 centimètres de distance, et pendant quatre heures, à l'action de la lampe à 220 volts. Le volume initial égal à 4 cc. 32 comprend 1 cc. 60 C^2H^2 + 2 cc. 72 O^2 . Le volume final est égal à 2 cc. 32 et composé de 0 cc. 57 CO^2 + 0 cc. 60 O^2 + 1 cc. 15 d'un mélange gazeux formé de 0 cc. 88 CO + 0 cc. 25 C^2H^2 . CO est reconnu par la décoloration du chlorure cuivreux bruni à l'air, et l'acétylène par la formation d'acétylure cuivreux (9).

Il a donc disparu 1 cc. 35 d'acétylène. Mais cet acétylène, au lieu de se polymériser sous l'action de l'ultra-violet comme précédemment, et de déposer sur les parois du tube un corps jaune fauve, n'a laissé se déposer à la surface du tube que quelques gouttelettes, et à la surface du mercure, une mince couche de liquide. Ce liquide possède une réaction fortement acide, présentant l'odeur caractéristique de l'acide formique, et précipité par l'azotate d'argent. Enfin, il possède une composition pondérale voisine de celle de l'acide formique.

C = 12 ; H = 2,2 ; O = 28,4
au lieu de C = 12 ; H. 2. ; O = 32

β) *Mélange d'éthylène et d'oxygène.* — Le tube de quartz est exposé pendant quatre heures à la lampe de 110 volts, à 4 centimètres de distance.

Le volume initial : 4 cc. 07, contient 1 cc. 37 C^2H^4 + 1 cc. 70 O^2 .

Le volume final : 3 cc. 04 renferme 0 cc. 14 CO^2 + 1 cc. 65 O^2 + 1 cc. 25 de résidu contenant de l'éthylène, de l'acétylène et de l'oxyde de carbone. L'éthylène n'a pas donné son polymère ciréux, à odeur de graisse rance; mais le tube contient quelques gouttelettes à odeur piquante, à réaction acide, précipitant par l' AzO^3Ag et composées surtout d'acide formique.

Comme on le voit, l'oxygène ne joue pas ici le rôle de gaz inerte favorisant la polymérisation, rôle que nous avons vu dévolu à l'hydrogène et à l'azote. L'oxygène, au contraire, entrave et arrête le phénomène.

Les auteurs de ces intéressantes expériences font remarquer la simplicité de la synthèse de l'acide formique à partir de ces hydrocarbures et de l'oxygène libre (9).

ARTICLE II. — *Action de l'ultra-violet sur les corps organiques à groupements fonctionnels oxygénés : alcools, aldéhydes, cétones et acides.*

Dans l'état actuel de la science sur l'action des rayons ultra-violet sur la chimie organique, il semble bien difficile de se conformer à la division généralement adoptée dans cette branche de la chimie. Quoi qu'il en soit, nous nous sommes efforcé d'y rester fidèle et nous nous permettons d'espérer que la clarté des faits n'en souffrira pas outre mesure.

Nous verrons d'abord l'action générale des rayons ultra-violet sur ces divers groupements fonctionnels, puis nous passerons en revue les quelques corps qui ont été expérimentés.

A. ACTION GÉNÉRALE DES RAYONS ULTRA-VIOLETS SUR LES GROUPEMENTS FONCTIONNELS OXYGÉNÉS.

Dans cette étude, la plus grande part revient encore à MM. Daniel Berthelot et Henri Gaudechon. La plupart de leurs expériences ont été faites avec leur lampe de 110 volts, dont l'action leur a paru moins brutale. Dans la plupart des cas, la température montait à 80° ou 90°, comme d'autres fois aussi elle ne dépassait pas 50° ou 60°.

En général, les actions obtenues sont des actions de décomposition. La formation des gaz qui en résultent n'est pas parallèle à la durée de l'irradiation. En effet, au bout d'une dizaine d'heures, l'état d'équilibre paraît à peu près établi, et l'on retrouve sensiblement les mêmes

proportions de gaz dans plusieurs expériences ayant duré plus de dix heures.

La dose de méthane produit a cependant paru aux deux savants devoir être assez variable, et ses proportions seraient en rapport avec la quantité plus ou moins grande d'oxygène mis en liberté. Ce fait est très compréhensible, si l'on songe que le carbone et l'hydrogène naissants ne se combinent entre eux qu'après avoir épuisé tout l'oxygène mis en liberté. En ce qui concerne l'hydrogène, ce phénomène est d'accord avec ce que nous avons dit à propos de la synthèse de l'eau à partir de l'ammoniaque.

Parmi les gaz résiduels, on ne trouve en effet jamais d'oxygène libre, pas plus, du reste, que des carbures non saturés éthyléniques ou acétyléniques, les épreuves au brome et à l'acétylure cuivreux ayant toujours donné des résultats négatifs.

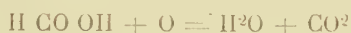
Soit donc un composé organique RX , X représentant le groupement fonctionnel oxygéné et R le radical, voyons ce que deviennent radicaux et groupement fonctionnels.

D'une manière générale, les radicaux R de deux molécules voisines se soudent entre eux pour donner un certain volume de gaz R^2 , suivant le schéma connu par lequel l'électrolyse de l'acide acétique, $CH^2, COOH$ donne de l'éthane $CH^3 - CH^3$.

Quant aux groupements fonctionnels, la décomposition par l'ultra-violet varie suivant les types.

α) Le groupement fonctionnel alcool CH^2OH se brise, H^2 formant 60 volumes à 70 volumes; les résidus OH et C réagissent pour donner H^2O et le gaz oxyde de carbone qui forme de 10 à 20 volumes. Le gaz anhydride carbonique n'apparaît qu'accidentellement dans le cas particu-

lier de l'alcool méthylique, $\text{H}.\text{CH}^2\text{OH}$. Ce fait exceptionnel s'explique par la formation secondaire probable d'une faible quantité d'acide formique, $\text{H}.\text{COOH}$, lequel se décompose à son tour :



Les auteurs ont, en effet, constaté que l'action de l'oxygène sur l'alcool donnait une notable quantité d'acide formique. Du reste, la formation d'acide formique par oxydation de l'alcool par l'oxygène de l'air en présence du noir de platine est un fait connu :



β) Le groupement aldéhydique-CHO est caractérisé par les gaz CO qui forme environ 40 volumes, et l'hydrogène en quantité légèrement plus faible. Il se produit aussi 5 à 10 volumes d'anhydride carbonique.

γ) La décomposition du groupement fonctionnel cétonique $>\text{CO}$ est remarquable par la rapidité exceptionnelle de l'action ultra-violette : c'est « une expérience de quelques minutes facile à répéter dans un cours », disent Berthelot et Gaudechon.

L'acétone ordinaire, en effet, est décomposée en quelques minutes en 49 volumes d'oxyde de carbone et en 51 volumes d'un mélange gazeux comprenant 46 volumes d'éthane et 5 volumes de méthane.

La solution aqueuse de ce corps donne 1 volume d'anhydride carbonique, 44 volumes d'oxyde de carbone et 55 volumes d'un mélange gazeux constitué par 46 volumes C^2H^6 et 9 volumes CH^4 .

Cette forte proportion de CO, ainsi que la rapidité de

la réaction caractérisent la fonction cétonique. Nous en verrons du reste la confirmation en étudiant la lévulose.

La diéthylacétone donne environ moitié de CO et moitié d'un mélange de carbures dont l'équation eudiométrique représente sensiblement celle de l'éthane, mais que les auteurs considèrent, en réalité, comme un mélange isomère, où ils ont pu séparer du méthane et du butane.

En aucun cas la décomposition du groupement cétonique ne donne de l'hydrogène. Ce fait la distingue de la fonction aldéhydique et correspond parfaitement à la différence des formules CO et CHO.

Enfin, le groupement fonctionnel acide-COOH est caractérisé par la particulière abondance d'anhydride carbonique qui forme 40 volumes à 60 volumes. L'oxyde de carbone et l'hydrogène se dégagent aussi, à raison de 15 volumes à 20 volumes chacun.

La quantité d'hydrogène dégagé dans la décomposition de ces divers groupements fonctionnels oxygénés décroît donc progressivement quand on va des alcools aux aldéhydes, aux acides, et enfin aux cétones, qui n'en dégagent pas la moindre trace.

En somme la décomposition des composés organiques à groupement fonctionnel oxygéné par les rayons ultraviolets peut ainsi être résumée : désagrégation de la molécule avec conservation des radicaux qui se soudent entre eux pour donner des carbures saturés, et destruction du groupement fonctionnel dont les éléments se comportent ainsi : le carbone et l'hydrogène naissants fixent d'abord tout l'oxygène dégagé, et une fois celui-ci épuisé, ils se soudent l'un à l'autre pour donner du méthane.

Le tableau suivant, dressé par les auteurs de cette re-

marquable étude, donne la proportion des gaz différents dégagés par chaque type de groupement fonctionnel oxygéné, et par quelques échantillons de ces divers groupements (13) :

ALCOOLS	CO ₂	CO	H ₂	CH ₄	C ² H ⁶	C ³ H ¹⁰
Alcool méthylique...	5	8	87	»	»	»
— éthylique....	»	22	63	»	15	»
— propylique...	»	16	69	»	»	15
ALDEHYDES						
Aldehyde méthylique.	9	59	46	6	»	»
— éthylique..	5	39	33	»	23	»
— propylique	6	36	37	»	»	20
ACIDES						
Acide formique.....	59	21	19	1	»	»
— acétique.....	41	14	43	13	19	»
— propionique...	41	15	45	45	»	14

B. ACTION SUR QUELQUES COMPOSÉS ORGANIQUES A GROUPEMENT FONCTIONNEL OXYGÉNÉ.

a) *Action sur les huiles.* — Comme on le sait, les huiles sont des éthers neutres de la glycérine qui, elle-même, est un alcool triatomique. L'étude de l'action de l'ultra-violet sur ces corps doit donc trouver sa place ici.

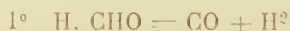
C'est à Lesure que l'on doit les principales recherches sur la question. M. Lesure a opéré sur de l'huile d'olive en couche de faible épaisseur (0 cent. 5). Nous savons en effet que les huiles sont relativement très opaques aux rayons ultra-violets. Après trente minutes d'irradiation à la lampe de quartz à vapeur de mercure, cet auteur a remarqué que l'huile se décolorait. Ce fait a, du reste, été signalé par d'autres auteurs, notamment par

Van Aubel, qui a employé cette substance dans ses expériences sur la recherche de l'ozone irradié à la lampe à mercure (3).

Quoi qu'il en soit, c'est à M. Lesure que revient l'honneur d'avoir montré que l'exposition de cette huile végétale à l'action des rayons ultra-violets l'altérait légèrement, altération constituée par une augmentation de plus de 5 p. 100 de l'indice d'acidité, pour une irradiation d'une durée d'une heure. Il est juste d'ajouter que cette huile avait été préalablement lavée à l'alcool (70).

b) *Action sur la formaldéhyde. Décomposition et polymérisation.* — Nous rappellerons ici que MM. Berthelot et Gaudechon ont réalisé la synthèse de la formaldéhyde à partir de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène. Pour-suivant leur étude de l'action ultra-violette sur ce corps, ils ont montré qu'on pouvait ainsi obtenir encore sa décomposition en oxyde de carbone et hydrogène. C'est la réaction inverse de la réaction synthétique. Quand l'action est plus poussée et accompagnée d'échauffement, il se produit, en plus, de l'anhydride carbonique et du méthane.

La décomposition s'effectue suivant les formules suivantes :



La polymérisation de l'aldéhyde formique se produit en même temps que sa synthèse. Nous avons vu, en effet, que le produit solidifié obtenu n'était pas l'aldéhyde formique vrai, mais son polymère, le trioxyméthylène. La nature de ce corps est encore démontrée, en dehors des

réactions caractéristiques ordinaires de la formaldéhyde (azotate d'argent ammoniacal et réactif de Tollens), par sa décomposition en produits gazeux analogues à ceux obtenus en partant de l'aldéhyde formique non polymérisée, sous l'influence de la lumière ultra-violette dans un cas comme dans l'autre.

Un fragment de trioxyméthylène, aldéhyde formique tricondensé, mis en présence de 1 cc. 50 d'azote est irradié pendant treize heures et quart à 2 cc. 5 de la lampe. Au bout de ce temps, on retrouve dans le tube de quartz, en plus du volume d'azote resté intact, de l'hydrogène et de l'oxyde de carbone avec un léger déficit de celui-ci par rapport à celui-là, et un peu de CO^2 et de CH^4 , en un mot, les mêmes gaz que dans la décomposition de la formaldéhyde par l'ultra-violet (11).

c) *Action sur les hydrates de carbone.* — L'étude de cette action de l'ultra-violet est certainement l'une des mieux connues. Aux noms de Berthelot et Gaudechon s'ajoutent ceux de Victor Henri, Bierry et Ranc, ainsi que celui de Lesure, qui a étudié surtout les glucosides.

1° ACTION DE DÉCOMPOSITION. — Comme on le sait, les hydrates de carbone sont des composés ternaires à fonction complexe; à la fois alcool et aldéhyde ou cétone, suivant les cas. Par suite, les produits de la décomposition de ces corps par la lumière ultra-violette ne sauraient différer beaucoup de ceux que nous avons obtenus un peu plus haut par la décomposition des groupements alcool, aldéhyde et cétone, sous la même influence. Les divers auteurs cités plus haut ont montré que l'expérience était d'accord avec la théorie,

α) *Action sur les sucres.* — Nous donnerons en premier lieu les résultats obtenus par Berthelot et Gaudechon, et nous verrons ensuite que ces résultats sont confirmés en partie par ceux de MM. V. Henri, Bierry et Ranc.

Les premiers ont expérimenté sur diverses solutions sucrées au titre de 10 p. 100, exposées pendant dix heures, à 2 centimètres environ de la lampe à 100 volts. La température était de 80° à 90°.

Avant de donner les résultats obtenus par ces deux savants, il est bon de considérer avec eux quelques circonstances particulières aux solutions aqueuses qui, si l'on n'était averti, pourraient être l'occasion d'erreurs considérables. D'après ces auteurs, quand on a opéré sur des solutions aqueuses, l'eau est décomposée par les rayons ultra-violets en hydrogène, qui est retrouvé dans les gaz, et en oxygène, dont on ne retrouve que de faibles proportions, le reste demeurant dissous dans l'eau. Cependant, le volume des gaz dégagés par l'eau distillée, est relativement faible, par rapport à celui que dégagent les solutions organiques.

Dans les conditions particulières qui nous occupent, il est un autre facteur d'erreur à éviter : c'est la facilité avec laquelle CO_2 se dissout dans l'eau, si bien que le volume trouvé de ce gaz ne représente jamais le volume total. Pour pallier à cet inconvénient, les auteurs opèrent avec le moins de liquide possible.

Enfin, une dernière cause d'erreur est représentée par la possibilité de la polymérisation des gaz à l'état solide ou liquide et, en fin de compte, par la combinaison entre eux des gaz. Combinaison aboutissant à la formation de nouveaux produits (formaldéhyde, par exemple),

Afin de rendre leurs analyses comparables, leurs auteurs les ont rapportées à 100 volumes de gaz combustible et non à 100 volumes de gaz total. Le tableau suivant indique la proportion de ces gaz.

Solutions irradiées	CO	CH ⁴	H ²	CO ²
Lévulose	83	8	9	15
Glucose	12	12	76	22
Maltose	12	11	77	21
Saccharose	45	8	47	16

Nous remarquons que les auteurs ont fait figurer dans ce tableau la quantité de CO² trouvée dans les mélanges. Leurs expériences ayant toutes été faites dans des conditions comparables; ce résultat leur a paru intéressant.

Voici maintenant leurs conclusions :

« Au degré de précision des analyses, et en remarquant qu'il existe toujours un peu d'hydrogène provenant de la décomposition de l'eau, on peut dire que :

« 1° Le glucose, sucre à fonction aldéhydique, donne des volumes sensiblement égaux de CO et de CH⁴, et environ six fois autant d'H².

« 2° Le lévulose, sucre à fonction cétonique, donne environ dix fois autant de CO que de CH⁴; le dégagement gazeux pour ce sucre est particulièrement rapide et abondant.

« 3° Le maltose, qui se dédouble en deux molécules de glucose, donne les mêmes volumes de gaz que le glucose.

4° Le saccharose, qui se dédouble en glucose et lévulose, donne les divers gaz en proportions intermédiaires entre ces deux corps (12). »

Quelque temps avant, MM. V. Henri, Bierry et Ranc

avaient aussi étudié l'action de la lumière ultra-violette sur les solutions sucrées. Une première série d'expériences avaient montré qu'une irradiation prolongée d'une solution aqueuse des polyoses suivants, saccharose, gentianose, raffinose et stachyose, qui ne possèdent pas de groupement fonctionnel aldéhydique, se dédoublent assez rapidement. En effet, au bout d'une heure, on pouvait constater le pouvoir réducteur de la solution, mais ensuite il ne se développait que lentement, et ne devenait très marqué qu'après vingt-deux heures.

Par contre, dans les solutions aqueuses de polyoses à fonction aldéhydique, tels que le maltose, le lactose et l'azotate de lactoseaminoguanidine, on n'a pas pu, même après vingt-deux heures d'insolation, mettre en évidence la moindre trace de glucose ou de galactose (13).

Ayant réussi ainsi, au moyen des rayons ultra-violets, à obtenir la dégradation des molécules complexes de polyoses en molécules plus simples, ces auteurs ont voulu voir quelle action exerceraient ces mêmes radiations sur les molécules moins complexes des sucres générateurs des polyoses dédoublés. En conséquence, ils ont expérimenté sur le d-fructose ou lévulose, très pur, qu'ils ont dissout dans de l'eau distillée, préalablement privée de gaz dissous par l'ébullition. Ces solutions, dont on avait déterminé préalablement le pouvoir rotatoire, la conductivité électrique, le point cryoscopique, étaient introduites dans de petits ballons en quartz de 30 cc. de capacité et munis d'un dispositif spécial pour prises d'essai et faculté d'opérer dans le vide. La lampe à vapeur de mercure était placée à 5 ou 10 centimètres de distance.

Au bout de quinze minutes d'exposition dans le vide,

23 cc. d'une solution de lévulose à 8 p. 100 dégagent des bulles de gaz qui se forment très nettement dans la masse du liquide et viennent ensuite crever à la surface.

Les auteurs ont d'abord étudié ces gaz, dont le volume total, après vingt-quatre heures d'action des rayons ultra-violets est égal à 37 cc. formés par 34 cc. 6 de CO identifié à l'aide de sa combinaison avec l'hémoglobine, de son absorption totale par le chlorure cuivreux chlorhydrique et l'équation de sa combinaison eudiométrique; de 1 cc. 7 de CO² absorbable par la potasse, et enfin de 0 cc. 7 de formaldéhyde dissous dans l'eau de lavage. Cette solution, traitée par le bisulfite de rosaniline en solution fortement sulfurique, se colore en rose. Il s'agit donc bien d'aldéhyde formique.

L'examen de la liqueur irradiée montre une diminution du pouvoir réducteur et du pouvoir rotatoire; par contre, la conductibilité électrique, ainsi que l'abaissement cryoscopique augmentent. Sa réaction au tournesol est franchement acide. Enfin et surtout, elle contient de la formaldéhyde et de l'alcool méthylique.

De plus, les auteurs ont remarqué que la transformation du d-fructose était un peu plus rapide à 65°-70° qu'à 10°-20°; que la réaction était plus lente en présence de l'air que dans le vide.

Enfin, ils ont voulu voir ce que le sucre à fonction aldéhydique et de complexité analogue, tels que glucose, arabinose, galactose, donnerait dans des conditions identiques. Leurs résultats ont été plutôt décevants, car après vingt et même trente heures d'exposition, ils n'ont pu décèler que des traces d'oxyde de carbone dans le volume de gaz dégagé qui, du reste, était égal à 0 cc. 1 (14).

Quoique ces derniers résultats présentent certaines analogies avec ceux obtenus par MM. Berthelot et Gaudechon, comme par exemple formation prépondérante de CO, ainsi que production de CO², il n'en existe pas moins de grosses divergences. C'est ainsi que l'on ne s'explique guère que MM. V. Henri, Bierry et Ranc n'aient pas réussi la décomposition des sucres à fonction aldéhydique réalisée par Berthelot et Gaudechon. D'un autre côté, à part CO et CO², les produits de décomposition obtenus par les uns et les autres avec les sucres à fonction cétonique ne sont plus les mêmes : Berthelot et Gaudechon signalent du méthane et de l'hydrogène. V. Henri, Bierry et Ranc signalent de la formaldéhyde et de l'alcool méthylique. Toutefois, ici, la divergence n'est qu'apparente, car, comme l'ont fait remarquer Berthelot et Gaudechon, dans ces conditions il peut y avoir combinaison des gaz entre eux. Ainsi, l'hydrogène naissant peut donner de la formaldéhyde avec CO. De même l'action de l'hydrogène naissant sur la formaldéhyde pourrait peut-être encore expliquer la présence du méthanol parmi les produits de décomposition du lévulose. Ainsi, ces faits, au lieu de contredire la manière de voir de MM. Berthelot et Gaudechon, la confirmeraient au contraire.

Les échecs de V. Henri, Bierry et Ranc dans la décomposition du glucose ne pourraient-ils pas être expliqués de la façon suivante? L'oxyde de carbone et l'hydrogène dégagés sous l'action des rayons ultra-violets s'unissent l'un à l'autre pour former de la formaldéhyde, qui se dissout, ce qui expliquerait le faible dégagement gazeux, puis, sous l'action persistante de ces radiations

chimiques, les molécules de formaldéhyde se condenseraient suivant la formule :



Les produits de la décomposition feraient ainsi retour à la molécule de glucose. Cette explication, que nous donnons pour ce qu'elle vaut, est, en tout cas, d'accord avec des faits réels, soit d'une part la possibilité de la polymérisation et de la combinaison entre eux des gaz résultants de la décomposition des solutions sucrées, soit, d'autre part, la synthèse du glucose réalisée par E. Fischer à partir de six molécules d'aldéhyde formique, mis en présence d'une base faible, telle que l'hydrate de calcium (lait de chaux).

β) Action sur les glucosides.— Les principales recherches sur l'action des rayons chimiques sur ce corps sont dues à MM. V. Henri, Bierry et Ranc d'une part, et, d'autre part, à M. Lesure.

Ces composés sont d'une façon générale dédoublés en leurs deux molécules constitutantes, dont l'une est toujours du glucose, mais dont l'autre peut être un acide, un alcool, ou un phénol.

V. Henri, Bierry et Ranc ont étudié l'action de la lumière ultra-violette sur l'amygdaline et sur les α et β -méthyl-glucosides purs dissous dans de l'eau distillée. Après une irradiation à la lampe de quartz à vapeur de mercure placée à 15 centimètres de distance de la solution et d'une durée de une à vingt-huit heures, ils ont constaté dans cette solution l'apparition du pouvoir réducteur. Comme pour les polyoses à fonction cétonique, ce pouvoir réducteur augmente lentement et ne devient réellement marqué qu'au bout de vingt-deux heures (13).

Les expériences de Lesure se rapportent à l'arbutine, à l'aucubine et à la gentiopicrine. Cet auteur a montré pour l'arbutine qu'une irradiation de quinze à trente minutes à la lampe de mercure modifie légèrement l'arbutine, mais il n'y a pas de modification de son pouvoir rotatoire. En ce qui concerne l'aucubine et la gentiopicrine, l'irradiation de trente minutes ne modifie ni la teinte, ni la déviation polarimétrique.

Mais il n'en est plus de même pour une irradiation de trois heures. Dans ces conditions, les solutions d'aucubine et de gentiopicrine à 1 p. 100 acquièrent nettement un pouvoir réducteur; il y a donc eu dédoublement.

L'action plus prolongée de l'ultra-violet sur l'arbutine a été étudiée plus en détail. La légère décomposition de ce glucoside végétal que nous venons de signaler ne fait que s'accroître avec la durée de l'irradiation. L'arbutine se dédouble par hydrolyse en glucose et hydroquinone. Or, en prolongeant l'irradiation pendant trois heures, la solution du glucoside à 1 p. 100 se colore de plus en plus, et l'on constate nettement la formation des produits réduits, et de l'hydroquinone en particulier. L'irradiation semble donc avoir pour effet de produire l'hydrolyse du glucoside et d'oxyder l'un des produits de la décomposition.

L'hydroquinone est en effet très facilement oxydable (transformation en quinone), et l'altération se manifeste rapidement, même à l'état de traces, grâce à la coloration produite, bien qu'il soit encore impossible de constater une modification de la déviation polarimétrique.

La méthylarbutine, glucoside qui donne de la méthylhydroquinone, est moins sensible à l'action de l'ultra-

violet que son homologue non méthylé. Ainsi, tandis que l'arbutine est déjà altérée au bout de cinq minutes d'irradiation, une même solution à 1 p. 100 d'arbutine méthylée ne le devient qu'après une demi-heure d'exposition. Toutefois, dans l'un et l'autre cas, l'action ultra-violette ne saurait progresser beaucoup en raison de la coloration du milieu due à l'oxydation des produits phénoliques de la décomposition. Car, comme on le sait, les couleurs diminuent la transparence ultra-violette (70).

Ce dédoublement de glucosides végétaux par l'ultra-violet a été réalisé dernièrement sur la plante elle-même.

γ) Action sur les matières amylacées. — MM. Th. Nogier et Cl. Gautier ont expérimenté l'action de la lampe de Kromayer sur le produit bleu que donne l'amidon et le produit brun acajou que donne le glycogène avec le réactif iodo-ioduré. Ils ont montré que ces deux produits, iodure d'amidon et iodure de glycogène (?) étaient décolorés par les rayons ultra-violets.

Pour leurs expériences, ils employaient une solution à 10 p. 100, soit d'amidon, soit de glycogène (à chaud pour l'amidon et à froid pour l'amidon animal). Cette solution traitée par le liquide de Bouchardat : 11 gouttes pour l'amidon et 10 gouttes pour le glycogène, était ensuite filtrée, et l'on en remplissait un tube de quartz d'un diamètre intérieur égal à 7 millimètres. Le tout, enfin, était soumis à l'irradiation à 6 centimètres de distance.

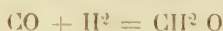
On constatait alors qu'au bout de quarante-deux minutes, la coloration bleue de l'iodure d'amidon avait complètement disparu : 1 goutte du réactif iodo-ioduré ne faisait réapparaître qu'une coloration bleu noirâtre.

Pour le glycogène, la décoloration était plus rapide, quinze minutes seulement, mais ici, l'addition du réactif Bouchardat faisait réapparaître la coloration primitive brun acajou. Toutefois, l'opalescence ordinaire des solutions de glycogène avait disparu.

L'interposition d'une lame de verre de 6 millimètres entre la source lumineuse et la solution n'empêche pas la décoloration, qui est seulement un peu ralentie. Par suite, l'ultra-violet ordinaire serait suffisant pour produire cette action, dont le détail est difficile à préciser.

2° SYNTHÈSE DES HYDRATES DE CARBONE PAR LES RAYONS ULTRA-VIOLETS. — D'après MM. Berthelot et Gaudechon, la série des réactions précédentes, décompositions et synthèses des divers corps, réalisées par l'action ultra-violette, serait identique aux réactions biologiques qui se passent dans les végétaux à fonction chlorophyllienne, en ce qui concerne la synthèse des hydrates de carbone par ces plantes.

En effet, M. Berthelot père indiquait le mécanisme suivant : « Par le fait de la respiration végétale (chlorophyllienne), l'eau passe à l'état d'hydrogène et l'acide carbonique à l'état d'oxyde de carbone: ces deux corps ainsi réduits agissent l'un sur l'autre à l'état naissant et engendrent les composés naturels. D'après cela, l'oxyde de carbone serait dans la nature vivante la source du carbone des matières organiques. Leur formation dans les végétaux par l'action de l'oxyde de carbone sur l'hydrogène naissant, c'est-à-dire en vertu de l'action réciproque des éléments carbone, hydrogène et oxygène, mis en présence à équivalents égaux :



(L'aldéhyde CH^2O s'écrivait CHO dans la notation en équivalents.)

représente un phénomène comparable à celui que nous avons réalisé dans la décomposition par la chaleur du formiate de baryte, qui met en présence ces mêmes éléments : carbone, hydrogène et oxygène, à équivalents égaux :



L'auteur indique ensuite comment, par condensations successives, ce groupement CH^2O donne naissance aux hydrates de carbone, amidons et sucres.

Or, comme nous allons le montrer, les diverses décompositions et synthèses réalisées par l'action des rayons ultra-violets représentent exactement la série des réactions précédentes indiquées par Berthelot père. Pour montrer cette analogie, nous allons passer en revue les diverses expériences de MM. Daniel Berthelot et Henri Gaudechon.

Ces auteurs ont, en effet, montré que l'anhydride carbonique est décomposable par l'ultra-violet en oxyde de carbone et oxygène, ensuite, que l'oxyde de carbone mis en présence de la vapeur d'eau, la décompose en hydrogène et anhydride carbonique. Cet hydrogène naissant se trouvant en présence d'un excès d'oxyde de carbone, transforme ce gaz en formaldéhyde tricondensé. Mais supposons qu'au lieu de trois molécules d'aldéhyde formique qui se condensent, il y en ait six, nous obtenons alors du glucose, phénomène très possible, puisque Fischer a montré que cette condensation s'effectuait sous de faibles influences. Nous rappelons

que nous avons déjà fait appel à ce phénomène de condensation de la formaldéhyde pour expliquer l'échec de certains auteurs dans la décomposition du glucose, décomposition réalisée par MM. Berthelot et Gaudechon.

Ainsi, comme nous le voyons, les rayons ultra-violets semblent être des agents de synthèse des hydrates de carbone au même titre que l'assimilation chlorophyllienne. Et c'est à Berthelot et Gaudechon que revient l'honneur de l'avoir montré.

Enfin, pour compléter l'analogie des processus chlorophylliens et des processus photochimiques, signalons que récemment M. J.-B. Schryver, a pu, à l'aide d'un procédé particulièrement sensible, trouver de la formaldéhyde dans la plupart des échantillons de plantes vertes qu'il a examinés (94).

ARTICLE III. — *Action des rayons ultra-violets sur les composés qualernaires.*

1° ACTION SUR LES AMIDES. — MM. D. Berthelot et H. Gaudechon ont poursuivi leur étude de l'action de l'ultra-violet sur les composés organiques par des expériences sur la formiamide.

a) *Synthèse de la formiamide.* — Les auteurs ont réalisé cette synthèse à partir de l'oxyde de carbone et de l'ammoniaque. Ils ont opéré sur des mélanges contenant des proportions variables de ces deux gaz, soit à volumes égaux, soit avec excès de CO, soit enfin avec excès d' AzH_3 . Ces divers mélanges étaient exposés pendant une durée variant de quatre à huit heures, à une distance de 1 centim. 5 de la lampe à mercure. Après l'irra-

diation, ils ont toujours constaté une disparition de volumes égaux de ces deux gaz, en même temps que la formation d'un liquide huileux et épais. Ce liquide, additionné d'anhydride phosphorique et légèrement chauffé, donnait un dégagement gazeux d'acide cyanhydrique; de plus, dissous dans de l'eau légèrement alcalinisée avec de la potasse, il dégageait des vapeurs d'ammoniaque et donnait un formiate.

Comme le font remarquer les auteurs, cette synthèse de la formiamide confirme pleinement le rôle que nous avons accordé à l'oxyde de carbone, qui doit être considéré comme l'unique source du carbone végétal. Il peut, de plus, représenter le point de départ de la formation des matières albuminoïdes des plantes. Enfin, il faut remarquer que l'ammoniaque, dont les auteurs se sont servis pour réaliser la synthèse de cet amide, est aussi répandu dans la nature que l'anhydride carbonique, qui fournit l'oxyde de carbone, l'autre terme nécessaire à la production de la formaldéhyde (11).

b) *Action inverse de l'ultra-violet. — Décomposition des amides.*

α) *Décomposition de la formiamide.* — D'après ces mêmes auteurs, l'amide formique se décomposerait sous l'influence de l'action des rayons ultra-violets en oxyde de carbone et ammoniaque; la plus grande partie de ce dernier gaz se redissoudrait dans l'amide qui le dissout très facilement, une autre partie de l'ammoniaque se décomposerait en hydrogène et AzH^2 qui resterait engagé dans des produits complexes (11).

β) *Décomposition de la diamide carbonique ou urée.* — Toujours d'après les mêmes auteurs, les rayons ultra-violets décomposent l'urée solide et qui donne 7 volumes d'anhydride carbonique, 65 volumes d'hydrogène et 28 volumes de méthane. La solution aqueuse fournit les mêmes gaz et produit 84 volumes $H^2 + 16$ vol. CH^4 . La solution restante possède le pouvoir réducteur, elle est alcaline et contient du gaz ammoniacque en solution; elle renferme aussi du carbonate d'ammoniaque, corps qui est aussi produit par la fermentation ammoniacale de l'urine. L'azote organique redevient azote minéral propre à la nutrition des êtres végétaux (11).

γ) *Action sur la cryogénine (métubenzamido-semi-carbazide.* — MM. Bordier et Nogier ont remarqué qu'une très courte irradiation de ce corps complexe le fait virer du blanc très pur au violet. Une émulsion de ce corps avec la gélatine modifie la teinte prise par ce composé sous l'influence de la lumière ultra-violette, il ne devient plus violet, mais rose orangé, ou orangé foncé quand l'émulsion est encore humide, et brun chocolat quand l'émulsion est irradiée à l'état de parfaite dessiccation. Nous ignorons les phénomènes intimes de cette réaction (26).

2° ACTION SUR LES NITRILES. — CYANOGENÈ.

La décomposition de l'oxalonitrile par les rayons ultra-violets n'a pu être réalisée par MM. Berthelot et Gauduchon. Tout ce qu'ils ont pu obtenir, c'est une action de condensation

a) *Polymérisation du cyanogène. Formation du paracyanogène.* — Des tubes soumis à l'action de leur lampe

à 110 volts pendant des temps de même durée et à des distances variables, produisent au bout d'une heure et demie une contraction de 18,5 p. 100 (vol. initial : 1 cc. 94; vol. final : 1 cc. 58). Mais déjà, au bout de quelques secondes d'exposition, on voit sur les parois du tube de quartz se former un dépôt solide, de couleur marron, qui forme bientôt écran et ralentit, par là même, l'action des rayons ultra-violet. Ce dépôt est constitué par du paracyanogène, il est complètement soluble dans la potasse, et, par suite, ne contient pas de carbone libre. Le gaz résiduel est aussi entièrement absorbable par la potasse : cyanogène pur sans azote.

Il y a donc eu polymérisation et non décomposition.

L'addition au cyanogène d'un certain volume d'acétylène ne modifie en rien le phénomène. Les deux gaz agissent pour leur propre compte; le gaz résiduel contient un mélange de ces deux gaz, et le dépôt des parois du tube à la fois le paracyanogène et le polymère jaune fauve de l'acétylène (8).

b) *Action sur un mélange de cyanogène et d'oxygène. Combustion du cyanogène.* — A l'aide de leur lampe de 220 volts, Berthelot et Gaudechon ont produit la combustion d'un mélange gazeux ayant un volume total de 3 cc. 56, contenant 2 cc. 10 C^2Az^2 + 1 cc. 46 O^2 , mélange placé dans le tube de quartz à 4 mètres de la lampe. Après deux heures d'exposition, le volume total était réduit à 3 cc. 02 formé de 1 cc. 46 CO^2 + 0 cc. 72 Az^2 . Comme on le voit, tout l'oxygène avait disparu, et sa proportion avait limité la combustion, car les 0 cc. 54 de cyanogène manquants s'étaient tout simplement polymérisés.

La réaction s'était effectuée suivant la formule théorique de la combustion du cyanogène :



Si l'oxygène est en excès, il n'y a pas de polymérisation du cyanogène.

A propos de cette combustion froide du cyanogène, MM. Berthelot et Gaudechon font judicieusement remarquer que dans le cas de la rencontre de l'atmosphère terrestre avec une queue cométaire riche en cyanogène, ce gaz serait absolument inoffensif pour nous, car il serait absolument brûlé dans les couches supérieures raréfiées de l'air, où le rayonnement ultra-violet est relativement très intense (9).

3° ACTION SUR QUELQUES SELS D'ALCALOÏDES.

C'est à Lesure qu'on doit cette étude de l'influence ultra-violette sur les sels d'alcaloïde. Les corps étudiés par cet auteur sont les chlorhydrates de morphine, de cocaïne, de pilocarpine, d'apomorphine, le salicylate d'ésérine, de bisulfate de quinine et enfin la caféine. Ces substances étaient en solution.

Il a d'abord établi la perméabilité de ces corps aux radiations ultra-violettes. Pour la caféine, qui est légèrement colorée, pour le salicylate d'ésérine et le chlorhydrate d'apomorphine, la transparence est environ cinq à dix fois inférieure à celle de l'eau. Pour les bichlorhydrate et bisulfate de quinine, la perméabilité est à peu près nulle. Il s'est servi, pour établir ces résultats, du papier au citrate d'argent mat.

Au point de vue de l'altération de ces substances, M. Lesure a remarqué que les solutions les plus sensibles étaient celles de salicylate d'ésérine et de chlorhydrate d'apomorphine : une coloration, dans ces substances, apparaissait au bout de cinq minutes d'irradiation. A l'obscurité, l'altération ne se produisait pas. Puis, vient le chlorhydrate de morphine, dans la solution duquel la coloration, très légère d'ailleurs, n'apparaît qu'au bout de quinze à trente minutes d'exposition (70).

CHAPITRE III

Action des rayons violets sur les divers composés de la chimie biologique.

Cette étude, quoique de date relativement plus ancienne que celle des deux autres parties de la science de la chimie, n'est guère encore qu'à l'état d'ébauche. Néanmoins, nous avons réuni ici un certain nombre de résultats intéressants.

ARTICLE I. — *Action des rayons ultra-violets sur le sang.*

Nous envisagerons successivement la matière colorante, les éléments figurés et le sérum.

α) Matière colorante. — Nous devons les seules expériences intéressantes sur ce sujet à MM. Bordier, Nogier et Morel d'une part, et à M. A. Hasselbach, d'autre part.

Les premiers, pour étudier l'action de la lumière ultra-violette sur le sang, se sont servis d'une cuve à faces parallèles, dont l'une était en quartz. L'épaisseur du liquide que devaient traverser les rayons ultra-violets était égale à 1 centimètre. La source lumineuse était représentée par une lampe de Kromayer.

Le sang était préalablement dilué de telle sorte, que l'on puisse apercevoir nettement les deux bandes d'ab-

sorption de l'oxyhémoglobine et était exposé devant la fenêtre de quartz de la lampe. Au bout d'un temps variable avec la distance, on constatait que les deux bandes précédemment observées tendaient à disparaître, à faire place à une bande unique, et qu'à ce moment la bande de la méthémoglobine ($\lambda=634$) était présente.

Une solution très pure d'oxyhémoglobine obtenue avec du sang de cheval traité suivant la méthode de Zalenski était substituée au sang dans la cuve à faces parallèles. Après irradiation suffisante, l'examen révélait les mêmes phénomènes que précédemment, c'est-à-dire disparition des bandes de l'oxyhémoglobine et apparition de la bande caractéristique du spectre de méthémoglobine.

C'est donc bien à l'action directe des rayons ultra-violet sur l'oxyhémoglobine, qu'il faut attribuer la formation de méthémoglobine et non à des réactions secondaires entre les produits complexes contenus dans le sang.

Enfin, ces auteurs ont remarqué que, dès qu'apparaissait la bande caractéristique de la méthémoglobine, le liquide contenant la matière colorante, au lieu de paraître rose, comme cela arrive pour l'hémoglobine non irradiée, apparaît en vert, quand on l'observe par transparence (26).

Dans un récent mémoire, présenté à l'Académie royale de Copenhague, Hasselbach a exposé les recherches qu'il a faites sur ce sujet dans le laboratoire de l'Institut Finsen. Il détermine la nature et les conditions de l'action des rayons ultra-violet sur l'hémoglobine et quelques-uns de ses dérivés.

L'auteur s'est servi exclusivement, soit du sang de

bœuf défibriné, soit des corpuscules rouges purifiés que l'on en retire, soit enfin de solutions d'oxyhémoglobine. Sa source d'ultra-violet employée est encore la lampe de Kromayer.

Au moyen d'une plaque de verre ordinaire, et de verre « Uviol », il élimine, dans quelques-unes de ses expériences, les rayons ultra-violets au-dessous de 3.000 Å pour le verre ordinaire et de 2.500 Å pour le verre « Uviol ».

De ces expériences, il résulte que la matière colorante du sang se convertit, sous l'action de la lumière ultra-violette, en méthémoglobine qui se dédouble ultérieurement, par exemple, en hématine. La condition nécessaire à cette réaction est la présence de l'oxygène; l'hémoglobine réduite résiste à la lumière. Ces effets s'observent avec des radiations de longueur d'onde supérieure à $\lambda = 3.100 \text{ Å}$, mais avec une prépondérance marquée pour ces dernières.

La formation de méthémoglobine, qui a toujours lieu, soit que l'hémoglobine soit fixée sur les hématies, soit qu'elle soit en solution, suit, quant aux durées d'irradiations, la formule des réactions monomoléculaires.

Dans le vide, la méthémoglobine exposée aux rayons ultra-violets se transforme en hémoglobine réduite; dans l'obscurité, l'oxygène scindé produit la formation d'oxyhémoglobine.

L'hématine est réduite par la lumière en hémochromogène; dans l'obscurité, l'hématine se reforme.

Enfin, l'oxycarbohémoglobine subit, sous l'action de la lumière, une conversion partielle en hémoglobine réduite; dans l'obscurité, l'hémoglobine oxycarbonée se reforme.

Si l'on ajoute à ces diverses substances des corps facilement oxydables, que l'auteur nomme « sensibilisateurs », on accélère les réactions, mais seulement celles qui dégagent de l'oxygène (57).

Comme on le voit, les expériences de M. Hasselbach complètent et confirment celles de MM. Bordier, Nogier et Morel.

β) Eléments figurés. — C'est encore à Hesselbach que l'on doit d'avoir montré que les rayons ultra-violets produisent la dissolution des corpuscules du sang. Cette action a lieu aussi bien dans l'air que dans le vide. Les rayons de longueur d'onde inférieure à 3100 Å agiraient beaucoup mieux, quoique l'action des rayons visibles soit encore très appréciable (37).

Avant lui, Finsen avait déjà signalé la déformation produite par la lumière ultra-violette sur les globules rouges du têtard. Ces éléments se contractaient et se déformaient de différentes manières (51).

γ) Sérum sanguin. — L'étude de ce milieu est difficile en raison de sa richesse en matières colloïdes, qui limitent l'action des rayons de courte longueur. Aussi, nous ne possédons qu'une ou deux publications sur ce sujet dues à MM. V. Baroni et C. Jonesco-Mihaiesti, ayant trait aux modifications apportées par l'irradiation aux principes actifs des sérums.

a) Destruction par les rayons ultra-violets des principes actifs des sérums normaux et préparés. — Les auteurs ont étudié tout spécialement l'action de ces radiations sur l'alexine du sérum normal, l'hémolysine des sé-

rums préparés, l'agglutinine typhique, la vibriolysine et l'agglutinine cholérique, l'antitoxine diphtérique, l'agglutinine et la toxine du ricin.

Les sérums dilués au 100°, sauf indication spéciale, dans de l'eau physiologique à 9 p. 1.000, étaient exposés à la même distance de 16 centimètres et demi, dans des boîtes de Pétri, à l'action de la lampe de quartz de Héræus de 110 volts. Pour chaque expérience, la dose était invariablement de 10 cc. 3. Les durées d'exposition variaient entre 10 secondes et deux heures.

Avec ce dispositif, les auteurs sont parvenus à des résultats intéressants sur la fragilité ou la résistance manifestée par les diverses propriétés des sérums normaux ou préparés à l'égard de la lumière ultra-violette.

Tout d'abord, comme bien l'on pense, la dilution favorise l'action destructive des rayons ultra-violets, car elle diminue la proportion des substances colloïdales, mais à dilution égale, la durée de l'irradiation, pour obtenir l'effet destructeur, varie avec les différents principes actifs des sérums. Le pouvoir alexique est le plus labile; puis viennent les propriétés lytiques des sérums immunisants; en général, les anticorps coagulants (agglutinines et antitoxines) sont les plus résistants.

Nous allons montrer quelques exemples de ces phénomènes.

a) *Perte du pouvoir alexique.* — Un sérum frais de cobaye perd son pouvoir alexique après 40-60 secondes d'irradiation (solution au 100°).

b) *Perte du pouvoir lytique.* — Un sérum hémolytique lapin anti-mouton chauffé trente minutes à 56° (titre 1 p.

500) n'hémolyse plus les globules du mouton en présence de l'alexine du cobaye, après une irradiation de quatre minutes et demie à six minutes de la solution au 100°.

Un sérum anticholérique de cheval perd son pouvoir bactériolysant envers des vibrions massaquah (tuant le cobaye à la dose de 1/8 de culture sur gélose dans le péritoine), après une exposition de sept minutes et demie à neuf minutes.

c) *Perte des anticorps coagulants : agglutinines et antitoxines.* — Un sérum de cheval agglutinant pour bacilles typhiques (titre 1/30.000°) n'est plus capable de les agglutiner au 500° après trente-deux minutes ou trente-six minutes d'irradiation de la solution au 100°.

Un sérum antidiphthérique de cheval ayant 300 unités immunisantes par centimètre cube ne protège plus le cobaye contre la dose mortelle de toxine diphthérique après irradiation pendant quarante-cinq à cinquante-cinq minutes de la solution au 100°.

Les toxines végétales sont également sensibles aux rayons ultra-violets. Ainsi, une irradiation de quatorze à seize minutes fait disparaître dans une solution au 100° de ricin le pouvoir d'agglutiner les globules rouges du lapin, ainsi que sa toxicité pour la souris. De même, une toxine diphthérique tuant le cobaye au 500° devient inactive au bout de quinze minutes.

Enfin, les auteurs ont constaté qu'avant d'atteindre la limite de destruction, on constate, pour les durées d'exposition moindres, une atténuation des substances actives, laquelle atténuation se traduit par un retard de l'action spécifique (4).

b) *Destruction de la propriété « antisensibilisine » du sérum par les rayons ultra-violets.* — Baroni et Jonesco Mihaiesti ont expérimenté sur du sérum de cheval en dilution peu étendues (1 : 4 — 1 : 9, dans de l'eau physiologique à 0.85 p. 100). La durée d'exposition a varié de trente minutes à trois heures et demie. Distance de la lampe : 10 centimètres.

Soit donc un sérum de cheval inoculé de bacilles typhiques agglutinant jusqu'à 1 : 20.000, exposé aux rayons ultra-violets dans la dilution au 10°. Quarante minutes d'irradiation détruisent son pouvoir agglutinant. Mais son pouvoir toxique persiste. En effet, 0.5 de la dilution irradiée inoculée dans la veine jugulaire tuent quatre cobayes et déterminent chez deux autres les symptômes caractéristiques d'anaphylaxie (agitation, toux, soubresauts, convulsions, etc.). Ces cobayes avaient été préalablement sensibilisés activement trois semaines auparavant avec 1/200 cc.

Pour lui faire perdre complètement son pouvoir toxique, à l'égard des cobayes ainsi sensibilisés, il faut une irradiation de deux heures et quart. Une dose de la dilution au 10°, ainsi irradiée, huit fois plus forte que celle qui tue ces animaux en deux minutes, ne produit pas le moindre accident.

Les auteurs ont ensuite expérimenté sur des cobayes sensibilisés passivement avec du sérum de lapin inoculé lui-même avec du sérum frais de cheval. La dose minima de ce sérum frais de cheval qui produit la mort en deux minutes (inoculation par voie intra-veineuse) chez les cobayes sensibilisés passivement, est de 1/50 cc. Il convient d'ajouter que le sérum de cheval était très précipi-

table par le sérum du lapin injecté. Ainsi, ce dernier est donc un sérum précipitant et capable de conférer une forte anaphylaxie passive.

Un tel sérum frais de cheval irradié (dilution au quart) pendant une heure et demie, produit chez deux cobayes sensibilisés passivement et ayant reçu dans la veine jugulaire 5 cc. de la dilution, des symptômes d'anaphylaxie (agitation, toux, soubresauts, paralysie transitoire). L'inoculation d'un troisième cobaye est suivie de mort.

Une dilution du même titre irradiée pendant deux heures et demie ne produit que de légers accidents d'anaphylaxie passive (les cobayes sont agités et mordent la cage).

Enfin, la dilution au quart exposée pendant trois heures ne produit pas le moindre trouble, même à dose vingt fois plus forte que celle nécessaire pour produire la mort en deux minutes.

Les cobayes qui ont survécu sont réinoculés trois ou quatre heures après dans la jugulaire du côté opposé, chacun avec 1 cc. de sérum frais de cheval. Les animaux qui avaient été inoculés avec la dilution irradiée pendant une heure et demie et deux heures et demie ne réagissent plus, ils sont vaccinés. Par contre, ceux qui avaient reçu la dilution exposée pendant trois heures meurent en deux ou trois minutes avec les symptômes caractéristiques.

Par suite, une irradiation prolongée pendant trois heures est donc nécessaire pour détruire définitivement la toxicité d'un sérum frais de cheval à l'égard de cobayes anaphylactisés passivement.

Quoi qu'il en soit, ce sérum, à qui l'action prolongée de l'ultra-violet a fait perdre toute sa toxicité, n'en reste pas moins précipitable par le sérum de lapin anticheval

qui avait servi à la sensibilisation passive des cobayes. Il a même paru aux auteurs que plus le sérum de cheval a été irradié, plus il devient précipitable.

La conclusion de ces expériences, c'est que la propriété « antisensibilisine » de Besredka est le principe actif du sérum le plus tenace de toutes les propriétés normales ou acquises, que cette propriété est distincte de la propriété précipitinogène, qui paraît indestructible par l'ultra-violet, et, que, enfin, un sérum de cheval peut être encore précipitable par un sérum anti, sans que, pour cela, il soit vaccinant pour des animaux sensibilisés avec ce même sérum-anti (5).

ARTICLE II. — *Action des rayons ultra-violets sur divers produits de sécrétion de l'organisme.*

a) *Action sur la bile.* — Bordier et Nogier ont montré que douze minutes d'irradiation à la lampe de Kromayer suffisaient pour modifier le spectre d'une part, la coloration d'autre part, d'une certaine quantité de bile vert foncé, sous une couche de 1 centimètre d'épaisseur. Avant l'exposition, cette bile possède deux bandes d'absorption : une dans le jaune, l'autre dans le vert : après la bande dans le jaune a disparu, et celle dans le vert est devenue très faible (26).

De son côté, la coloration de ce liquide s'est modifiée : du vert foncé, elle a viré au jaune, ou, en d'autres termes, la biliverdine s'est transformée en bilirubine, produit beaucoup plus stable. C'est, en somme, un phénomène de réduction qui s'est produit, comme pour les matières colorantes du sang.

b) *Action sur l'indol, le scatol, le chromogène d'origine skatolique et la couleur qui en dérive.* — MM. Nogier et Gautier ont fait un certain nombre d'expériences assez intéressantes sur ces corps différents. Malheureusement, ils n'ont pas encore identifié les produits de la réaction.

α) *Indol et scatol.* — Les auteurs, en ce qui concerne ces deux corps dérivés de la fermentation intestinale, ont cherché surtout à établir un procédé de différenciation et d'identification de ces deux corps dans leurs mélanges.

A 5 cc. de la solution d'indol ou de scatol (solutions aqueuses renfermant de 0 gr. 000005 à 0.0001 de ces corps), ou à leur mélange, on ajoute 1 cc. de p. diméthylaminobenzaldéhyde en solution alcoolique à 1/20; on agite et on additionne avec 5 cc. d'HCl. Après quelques instants, on entraîne la couleur dans 5 cc. de chloroforme.

Avant de subir cette dernière opération, les couleurs de l'indol et du scatol sont à peu près analogues, une nuance plus rose pour l'indol, et une nuance plus violacée pour le scatol. Leur mélange garde de préférence la teinte indolique.

Après entraînement par le chloroforme, l'indol devient rose carminé, et le scatol bleu; s'il s'agit d'un mélange, la couleur rose violacé du milieu aqueux passe au violet, c'est donc la couleur scatolique qui semble ici prédominer.

Ces couleurs chloroformiques indolique et scatolique possèdent un spectre différent. Celui du mélange n'est qu'une combinaison des précédents.

Ces diverses couleurs chloroformiques sont ainsi modifiées par l'irradiation à la lampe de Kromayer.

La solution de l'indol rose carminé, fonce d'abord, puis vire au rouge ponceau; elle pâlit ensuite peu à peu, passe à l'orangé rouge et se dégrade de plus en plus. Son spectre est considérablement reporté vers la droite.

La solution scatolique, qui est bleue, passe à l'indigo, enfin pâlit et vire au jaune verdâtre. Son spectre est tout d'abord reporté vers la gauche, mais quand la couleur vire au jaune verdâtre, il perd toute caractéristique.

Enfin, le mélange violacé chloroformique commence par foncer, tout en passant au rose carminé, et finalement vire à l'orange rouge caractéristique de l'indol.

Il est donc possible, dans un mélange d'indol et de scatol, de détruire la couleur scatolique en conservant l'indolique. Cette constatation est précieuse pour la recherche de ces deux corps (52).

β) *Chromogène d'origine scatolique et la couleur qui en dérive.* — Le scatol injecté à la grenouille dans les sacs lymphatiques dorsaux s'élimine par les urines à l'état de chromogène.

Pour se débarrasser du skatol lui-même, les auteurs agitaient avec de l'éther les urines des grenouilles injectées. Cette urine, ainsi dépouillée de son scatol, était portée à l'ébullition, additionnée aussitôt de son volume d'HCl pur, puis portée de nouveau à l'ébullition. Le mélange se colorait aussitôt en rose violet, et était divisé en deux portions : la première conservée telle quelle, la seconde agitée avec un peu d'alcool amylique. La teinte de cet alcool séparé de l'urine était ramenée, par

dilution, à une teinte sensiblement analogue à celle de la première portion.

L'irradiation à la lampe de Kromayer du mélange coloré urine-acide faisait disparaître la coloration de ce mélange qui était incapable de céder à nouveau la moindre trace de matière colorante à l'alcool amylique. Dix minutes avaient suffi.

Quant à l'extrait amylique de couleur skatolique, il virait au brun clair au bout de vingt minutes d'irradiation.

Enfin, l'urine simplement dépouillée de son skatol par l'éther, fut soumise à l'exposition aux rayons ultra-violets pendant vingt minutes. Après avoir subi cette influence, elle fut portée à l'ébullition et additionnée encore chaude d'HCl, mais *aucune trace de coloration* ne put être mise en évidence.

En conséquence, il faut admettre que les rayons ultra-violets sont capables de détruire non seulement le chromogène skatolique, mais encore la couleur qui en dérive par action de la chaleur et d'HCl. Toutefois, celle-ci paraît moins stable que le chromogène lui-même, puisque sa disparition ne demande que dix minutes d'irradiation, alors qu'il en faut vingt pour la première (53).

c) *Action sur le lait.* — Tous les auteurs qui ont expérimenté l'action des rayons ultra-violets sur le lait, ont remarqué qu'il prenait sous cette influence une odeur très désagréable, qu'ils n'ont pas, du reste, cherché à rapporter à une cause quelconque. Cependant, ainsi que nous le savons, le lait contient des globules gras; or, les corps gras acquièrent une certaine acidification sous

l'influence des rayons ultra-violet, comme l'a montré Lesure pour l'huile d'olive, ce qui veut dire que les rayons ultra-violet décomposent les éthers neutres de la glycérine. Pourquoi n'en serait-il pas de même dans le lait ? Les acides gras produits seraient à leur tour en partie décomposés, et donneraient ainsi de l'oxygène, qui agirait sur la portion non décomposée, pour la transformer en des acides volatils doués d'une odeur particulièrement désagréable, tels que les acides butyrique et valérique, comme cela se passe dans le phénomène de rancissement.

Mais tout cela n'est qu'une vue de l'esprit, aussi importe-t-il de passer à quelques effets un peu plus précis de l'ultra-violet sur cette substance. Malheureusement, ils manquent encore, fait qui peut être expliqué par difficulté de la pénétration des radiations de courte longueur d'onde dans le lait. Tout ce que nous avons trouvé, c'est une récente publication sur l'influence des rayons ultra-violet sur la digestibilité tryptique du lait de M. J. Talarico.

Cet auteur a montré que pendant les trente premières minutes de l'exposition à la lumière ultra-violette, le lait conserve sa digestibilité naturelle vis-à-vis de la trypsine. Après ce court laps de temps, la digestibilité tryptique de cette substance diminue constamment pendant une nouvelle durée plus importante que la précédente. Mais après deux ou trois heures d'exposition, le lait reprend en partie sa digestibilité primitive à l'égard du ferment tryptique.

Ce phénomène un peu étrange n'est pas sans précédent, car cet auteur a également pu montrer que l'effet

inhibiteur provoqué par la cuisson à 100° à l'égard de la digestibilité du tissu musculaire, disparaît en grande partie à la température de 140°.

Les résultats de M. Talarico ont une certaine portée pratique : ils montrent en effet la possibilité de la stérilisation du lait sans altération de sa digestibilité. Dans cette opération, en effet, la durée d'exposition n'excède jamais trente minutes (95).

ARTICLE III. — *Action des rayons ultra-violets sur la gélatine et les albumines.*

α) *Gélatine.* — M. A. Tian, frappé des modifications que la lumière faisait subir à l'albumine bichromatée, a voulu voir comment se comportaient les rayons ultra-violets vis-à-vis de la gélatine non sensibilisée.

Il a employé la gélatine incolore dite pure du commerce. Ses préparations étaient disposées dans une cellule dont la partie supérieure était en quartz; la cellule complètement immergée dans l'eau pour éviter l'action des rayons calorifiques, était à 15 centimètres de la lampe de quartz à vapeur de mercure.

Avec ce dispositif, M. A. Tian a constaté que les rayons ultra-violets ne paraissaient pas avoir d'action sur la gélatine ou ses solutions étendues.

Par contre, ils se montrent actifs à l'égard des gelées qu'ils détruisent, en produisant leur liquéfaction ou, en présence d'eau leur dissolution.

Pour que la liquéfaction soit poussée jusqu'au bout, il faut avoir soin d'entraîner par un courant d'eau le produit de liquéfaction. Car le phénomène est purement superficiel. Et si on le laissait sur place, ce produit absor-

bant l'ultra-violet sous une faible couche, le phénomène s'arrêterait. La liquéfaction par la faible concentration. Le liquide ainsi obtenu ne se solidifie à nouveau que difficilement.

Le phénomène se produit aussi bien à 5° qu'à 23°, et il est dû aux radiations ayant une longueur d'onde inférieure à 3.000 Å. L'auteur a en effet montré que l'interposition d'une lame de verre arrête la liquéfaction.

Enfin, M. Tian propose cette action de la lumière ultra-violette sur la gélatine au contact de l'eau pour obtenir des clichés en relief avec les clichés ordinaires sur gélatine, de même que pour affaiblir les épreuves photographiques (96).

β) *Albumines diverses.* — MM. Georges Dreyer et Otav Hansen ont montré que l'albumine de l'œuf, ainsi que diverses autres, se coagulaient par l'action de la lampe à vapeur de mercure. Cette action serait surtout le fait des radiations ultra-violettes de très courte longueur d'onde.

TROISIÈME PARTIE

ACTION SUR LES VÉGÉTAUX

(Bactéries — Champignons — Plantes vertes)

L'influence des radiations de courte longueur d'onde s'étend sur toutes les branches de la botanique. Avec celle de l'action photochimique, cette étude est certainement l'une des plus intéressantes. Soupçonnée depuis longtemps déjà, cette influence de l'ultra-violet a été, ces dernières années, l'objet de nombreux travaux, qui en ont poussé très loin l'étude et les applications pratiques.

Nous procéderons en allant du plus simple au plus complexe, des êtres monocellulaires aux plantes à chlorophylle.

CHAPITRE PREMIER

Action des rayons ultra-violet sur les bactéries.

HISTORIQUE

La connaissance de l'action destructive exercée par l'ultra-violet (solaire) sur les germes vivants ne date pas de ces dernières années. Elle fut, en effet, signalée en 1700 par Spallanzani à propos des microorganismes contenus dans les infusions végétales. Toutefois, ce savant ne rapportait pas cette influence nocive de la lumière à sa cause véritable, car il la mettait sur le compte de la chaleur.

Ce furent Downes et Blunt qui firent exécuter ce grand pas à la science, en 1877. Ayantensemencé des bouillons nutritifs, ils exposèrent les tubes qui les contenaient à la lumière du soleil. Ces tubes reportés à l'étuve, on constata que le développement des bactéries était arrêté. Par contre, d'autres tubes du même genre, mais entourés de plomb, qui arrêtait la lumière sans supprimer la chaleur, eurent beau être exposés aux rayons solaires, le développement des microorganismes n'en continua pas moins à l'étuve.

Pour prouver que l'arrêt du développement des microbes était bien dû à une action directe de la lumière sur

ces êtres, et non à des modifications que cet agent aurait pu déterminer dans le milieu nutritif, ilsensemencèrent à nouveau les tubes stérilisés par les rayons lumineux. Ces tubes donnèrent d'abondantes cultures.

Enfin, ces deux auteurs ne tardèrent pas à reconnaître que, de tous les rayons lumineux, c'était les rayons violets qui montraient l'action la plus bactéricide.

Les travaux de Downes et Blunt furent bientôt suivis par de nombreuses recherches, qui vinrent confirmer leurs résultats. Parmi les auteurs qui expérimentèrent ainsi, il faut citer Duclaux qui étudia l'action de la lumière sur le *Tyrothrix ruber* (bacille du lait) à l'état de spores. Arloing qui, à l'aide des rayons solaires, put atténuer des cultures de *Bacillus anthracis*, à tel point qu'au bout de vingt heures d'insolation, ces cultures, dont on connaît la virulence, pouvaient être employées comme vaccins (1-2). Santori obtenait encore des résultats plus rapides (douze à quatorze heures d'exposition au soleil).

Les expériences d'Arloing furent cependant contredites par celles de Roux, qui ne put arriver à tuer les spores du *Bacillus anthracis* après plus de cinquante heures d'insolation dans l'air, et après quatre-vingt-trois heures dans le vide.

De son côté aussi, Uffelmann déniait à la lumière tous pouvoirs microbicide à l'égard du bacille d'Eberth. Mais bientôt Buchner et Krause montrèrent qu'Uffelmann avait tort, car ils réussirent à tuer ce bacille en l'exposant deux heures au soleil.

Toutes ces recherches sont naturellement très intéressantes. Malheureusement, elles manquent de précision,

car elles n'indiquent pas à quelles radiations de la lumière solaire est dévolu particulièrement le pouvoir microbicide constaté. Pour cela, il faut arriver aux recherches de Janowski et de Kotliar qui opérèrent avec des milieux monochromatiques filtrant la lumière, et remarquèrent que les radiations qui agissaient le mieux sur le papier photographique, étaient aussi celles qui tuaient les bactéries le plus rapidement.

D'un autre côté, D'Arsonval et Charrin utilisèrent les diverses régions du spectre solaire. Ils remarquèrent que le pouvoir chromogène du bacille pyocyanique disparaissait beaucoup plus rapidement dans le violet et l'ultra-violet (ordinaire) que dans les autres régions.

D'autres auteurs employèrent les sources lumineuses artificielles : l'étincelle électrique qui, comme nous le savons, a été préconisée par Leduc et Strebel comme une excellente source d'ultra-violet, fut expérimentée par Geissler. Il en fut de même de l'arc voltaïque avec Dieu-donné, Geissler, Finsen et Bie. Ces deux derniers employèrent un arc de 6.000 bougies, dont ils tamisaient les rayons lumineux à l'aide de solutions monochromatiques vérifiées au spectroscope. Les rayons calorifiques étaient soigneusement éliminés. Les résultats obtenus avec cette source lumineuse étaient ainsi résumés par Bie : 96 p. 100 de l'action bactéricide du spectre revenait aux rayons actiniques (bleu, indigo, violet et ultra-violet) et 4 p. 100 serait seulement la part des rayons calorifiques ou lumineux (rouge, orangé, jaune et vert).

Cet historique est certainement un peu long, mais il a aussi son côté intéressant en ce qu'il nous montre les premiers pas de la science, les tâtonnements successifs

à l'aide desquels elle est arrivée au degré de précision et de rigueur où se trouve actuellement l'étude de l'action bactéricide de l'ultra-violet. Il nous montre enfin la supériorité des sources artificielles, à qui les recherches actuelles doivent leurs succès.

ARTICLE I. — *Action bactéricide proprement dite.*

C'est avec l'apparition des lampes de quartz à vapeur de mercure, sources presque idéales, que coïncident les recherches vraiment scientifiques et les résultats précis de ces dernières années. En effet, le temps n'est pas très loin où, au Congrès de Lyon de 1906, MM. Nogier et Thévenot déniaient tout pouvoir bactéricide à la lampe de Cooper-Hewit qui, comme on le sait, ne laisse filtrer aucune radiation chimique au-dessous de $\lambda = 3.000 \text{ \AA}$ (83).

Par contre, ces mêmes auteurs pouvaient présenter au Congrès de Clermont de 1908 des résultats aussi inattendus que merveilleux, obtenus avec la lampe en quartz de Kromayer. A l'aide de cet appareil, ils arrivèrent à stériliser différentes cultures faites en boîtes de Petri. Ainsi, ils obtinrent une stérilisation complète d'un commencement de staphylocoques placé à 4 centimètres de la fenêtre de la lampe de Kromayer, en quatre cents secondes. D'autres résultats moins complets furent obtenus avec des irradiations de moindre durée. Toutefois, ils échouèrent à peu près complètement à stériliser des cultures de bacille d'Eberth et de staphylocoques en tubes de verre. Cet échec s'explique facilement par l'opacité du verre aux rayons bactéricides.

Néanmoins, la voie était ouverte aux recherches avec

un instrument aussi précieux que la lampe en quartz à vapeur de mercure, et les résultats allaient être obtenus de plus en plus nombreux et de plus en plus probants.

De 1908 à 1909, M. Nogier continua ses recherches, aidé dans ce travail par M. le professeur J. Courmont, qui lui apporta le concours de toute sa compétence en la matière. Leurs expériences furent d'abord continuées avec la lampe de Kromayer, puis avec des lampes spéciales en quartz, qu'ils firent construire tout exprès.

Ces auteurs commencèrent à déterminer le degré de perméabilité de l'eau aux rayons de courte longueur d'onde. Leurs expériences, à ce propos, leur montrèrent que l'action des rayons ultra-violets bactéricides se manifeste comme encore utilisable à 30 centimètres de la source lumineuse, distance à laquelle la destruction totale des microbes pathogènes demande environ une minute.

Munis de ces données, ils firent construire un grand tonneau cylindrique de 60 centimètres et d'une capacité de 115 litres. Suivant son axe, était suspendue par ses électrodes une lampe en quartz de forme spéciale et de 30 centimètres de longueur, fonctionnant sous 9 ampères et 135 volts. Le tonneau pouvait basculer en tournant autour de deux pivots, de façon à permettre l'allumage de la lampe à vapeur de mercure.

De très nombreuses expériences montrèrent à MM. J. Courmont et Nogier, que la stérilisation des 115 litres d'eau contenue dans le tonneau était complète. Les microbes ordinaires de l'eau, le coli-bacille, le bacille d'Eberth avaient disparu au bout d'une ou deux minutes, soit que l'eau fut polluée naturellement ou artificiellement. L'eau n'était pas échauffée (à peine quelques dixièmes de degré d'élévation de la température (78).

Les résultats si éclatants de MM. J. Courmont et Nogier furent confirmés par de nombreux travaux du même genre, publiés en France et à l'étranger. Nous citerons ceux de M. V. Henri et de M^{lle} Cernovodeanu, qui confirment, en les complétant, les résultats obtenus par MM. J. Courmont et Nogier.

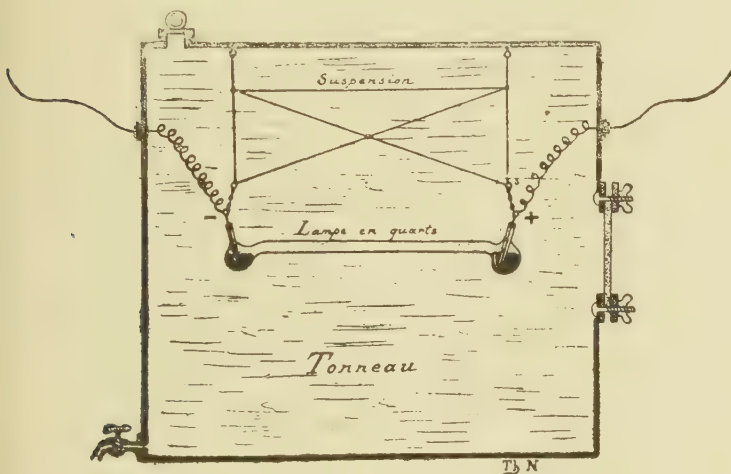


FIG. 3. — Tonneau d'expériences de MM. Courmont et Nogier.

Ces auteurs se sont servis de quatre lampes en quartz à vapeur de mercure différentes : lampe Heræus fonctionnant sous 4-5 ampères et 110 volts; lampe de quartz-lampengesellschaft de Hanau, de 110 volts; deux lampes de Westinghouse-Cooper-Hewitt à Paris, modèles de 110 volts et de 220 volts.

L'émulsion microbienne était parfaitement homogène et placée dans des vases cylindriques ou évasés. Ces récipients étaient placés à diverses distances de la lampe. A des intervalles de temps déterminés, des échantillons de liquide étaient prélevés, toujours au fond du vase, etensemencés dans deux tubes de bouillon frais.

Les microbes expérimentés furent les suivants : bacille coli, bacille d'Eberth, staphylocoque doré, pneumobacille de Friedlander, bacille dysentérique, vibron cholérique, bacillus anthracis (asporogène et sporogène), sarcines orange et blanche, bacille phléole, bacille tétanique, bacillus subtilis, bacillus megatherium.

Les émulsions étaient faites à raison de 10.000 à 100.000 microorganismes par centimètre cube.

Voici les résultats obtenus par les auteurs :

1° *Influence de la distance, et comparaison des lampes.* — « L'action bactéricide des rayons ultra-violetts croît plus vite que le carré de la distance. La lampe de 220 volts est, pour les faibles distances, cinq fois plus active que la lampe de 110 volts, et pour les grandes distances, la différence entre les deux lampes est encore plus forte.

2° *Influence de l'épaisseur de la couche liquide.* — « L'action bactéricide est un peu plus forte lorsque l'émulsion est en couche épaisse de 25 centimètres que lorsqu'elle est en couche mince de 2 centimètres à 0 cent. 5.

3° *Influence de la température.* — « L'action bactéricide se produit avec la même vitesse aux températures de 0°, 18°, 25°, 35°, 45° et 55°. Elle se produit aussi bien pour une émulsion congelée.

4° *Action en l'absence de l'oxygène.* — « L'action des rayons ultra-violetts se produit à peu près avec la même vitesse en l'absence de l'oxygène que dans l'air. »

5° *Irradiation du milieu. Rôle de l'eau oxygénée.* — Nous verrons cette question un peu plus loin.

6° *Influence de la nature des microbes.* — « Les divers microbes n'ont pas tous la même sensibilité aux rayons ultra-violets. Ce n'est ni la résistance à la chaleur, ni la forme, ni la taille, ni la pigmentation qui semblent intervenir dans ces différences. Voici des durées comparables :

Staphylocoque doré.....	5" à 10"
Vibron cholérique.....	10" à 15"
Bacillus coli.....	15" à 20"
Bacille typhique.....	10" à 20"
Bacille dysentérique (Shiga-Dopter.)	10" à 20"
Pneumobacille de Friandlander...	20" à 30"
Sarcine blanche.....	20" à 30"
Sarcine orange	40" à 60"
Bacille Phléole.....	30" à 40"
Bacille Charbonneux (sporogène).	20" à 30"
Bacillus subtilis.....	30" à 60"
Bacille du tétanos.....	20" à 60"
Bacillus mégathérium.....	30" à 61"

7° *Nature des rayons actifs.* — «... En interposant une plaque de verre blanc de 1 millimètre, on arrête tout le spectre ultra-violet après les raies 3.027-3.022; ces dernières ne traversent le verre que très affaiblies. Dans ce cas, l'action bactéricide est extrêmement ralentie. Il faut une exposition de trois à cinq heures, au lieu de quinze à vingt secondes pour stériliser une émulsion de bacilles coli.

« Une plaque de mica de 0 mill. 2, qui arrête les rayons ultra-violets à partir de la raie 2.759, et qui laisse encore passer 2.804 et 2803 très affaiblies, a pour la lampe à 110 volts presque le même effet que l'écran de verre.

« Une plaque de viscose de 0 mill. 2, qui arrête les rayons ultra-violetes extrêmes à partir de la raie 2.483, retarde un peu la stérilisation. On l'obtient en 60 secondes.

« Des traces de bouillon ajoutées à l'émulsion retardent très fortement la stérilisation; le bouillon arrête tous les rayons ultra-violetes à partir de 2.925.

« Par conséquent, les rayons ultra-violetes les plus bactéricides sont ceux qui ont une longueur d'onde audessous de 2.800 Å (30). »

MM. Bordier et Horand ont aussi fait quelques expériences qui, si elles n'ont pas la précision des précédentes, sont en tout cas très originales. Ces auteurs ont, en effet, irradié des microbes dans le milieu naturel où ils vivaient. Une autre caractéristique de leurs expériences, c'est qu'ils n'ont pas apprécié l'action destructive des rayons ultra-violetes par l'ensemencement des microorganismes irradiés à la lampe de Kromayer, mais tout simplement par l'examen à l'ultramicroscope : un premier examen avant l'irradiation était fait pour juger et de la nature des microbes contenus dans les liquides examinés, et de leurs degré de vitalité; un deuxième examen qui montrait la cessation de tout mouvements chez ces êtres était fait immédiatement après.

Tout d'abord, ils ont irradié une préparation entre lame et lamelle d'urine du brochet, renfermant le *para-coli* commun et des *spores* du *myxidium Lieberkuni*. L'irradiation fut faite au contact de la lampe de quartz, très froide, pendant deux minutes et demie. Examinée ensuite à l'ultra-microscope, on constata que tout mouvement avait cessé chez le *para-coli*.

Ils ont, en second lieu, irradié de la sérosité de cancer du maxillaire, dans laquelle l'examen ultra-microscopique avait révélé du *spirochæte réfringent*, le *spirochæte de Kielameneglou et von Cube*, un *petit bacille indéterminé*, excessivement mobile et possédant des cils vibratiles, du *streptocoque* et du *staphylocoque*. La préparation entre lame et lamelle et fixée à la paraffine était ensuite irradiée pendant trois minutes; puis examinée à nouveau à l'ultra-microscope. Cet examen montrait que tous les mouvements des bactéries avaient cessé : on ne voyait plus que les cadavres de ces microbes qui, quelques minutes auparavant, étaient pourtant si vivants et si remuants.

MM. Bordier et Hœrand ont enfin recherché quelle était l'influence des rayons ultra-violet sur le *coli-bacille* et l'*entérocoque* contenus dans la sérosité d'un cancer du rectum. Après exposition, tout mouvement était arrêté : les coli-bacilles qui, à l'ultra-microscope apparaissent comme de petites chenilles à corps noir, avec un duvet jaunâtre, apparaissent maintenant comme autant de cadavres flottant dans le liquide (23).

Ces auteurs ont eu tort, semble-t-il, d'employer des lamelles de verre blanc. En effet, de leur propre aveu, ces lamelles absorbent 10 p. 100 des rayons ultra-violet en général. Il serait intéressant de savoir si ce sont les radiations de plus petite longueur d'onde, et, par suite, les plus bactéricides, qui subissent le déficit, ce qui est tout à fait certain. Aussi, si nous comparons les durées des expériences de ces deux auteurs avec les durées des expériences des auteurs précédents, le maximum chez les unes est de 60 secondes, tandis que chez les autres

il est de 180 secondes. Dans cette différence, il faut voir avant tout un effet de l'opacité du verre aux radiations de courte longueur d'onde.

La nature de la radiation est donc un facteur important de l'action bactéricide de l'ultra-violet. Pour le mettre en relief, il suffit de comparer les premières expériences faites sur cette question et celles d'aujourd'hui. Qu'on se rappelle ainsi que Arloing, pour atténuer une culture de bacilles charbonneux avait dû l'exposer pendant une quinzaine d'heures aux rayons d'un soleil de juillet; aujourd'hui, vingt à trente secondes d'irradiation à la lampe à vapeur de mercure suffisent. D'où vient cette différence ? Tout simplement de ce que l'ultra-violet solaire s'étend sur 90 unités dans l'ultra-violet bactéricide, tandis que le spectre de la lampe en quartz à vapeur de mercure contient tout l'ultra-violet bactéricide.

ARTICLE II. — *Modifications physiques et chimiques produites par l'ultra-violet dans le protoplasma bactérien.*

M^{lle} Cernovodeanu et M. V. Henri ont montré quelles étaient les modifications apportées par les rayons ultra-violets au sein du protoplasma des microorganismes.

Ils ont opéré successivement sur des émulsions aqueuses, sur des préparations desséchées sur lame, et enfin sur des préparations desséchées et fixées par la chaleur ou l'alcool.

Ajoutons que ces auteurs n'ont pas étudié seulement les bactéries, mais aussi d'autres microorganismes et éléments figurés de la série animale.

Si l'on fait agir les rayons ultra-violets sur des organismes assez gros, paramécies et globules blancs, l'examen au microscope sur fond noir montre que le protoplasma devient granuleux, plus brillant. Un changement analogue se voit sur l'albumine d'œuf et les albuminoïdes du plasma sanguin, comme nous l'avons déjà vu. Ces changements correspondent à un commencement de coagulation.

En second lieu, les rayons ultra-violets produisent une fixation des éléments. Les auteurs ont observé cette fixation pour le bacille typhique, le coli-bacille, le staphylocoque doré, le streptocoque, le bacille charbonneux, le bacille tétanique, le bacillus subtilis, le bacille de la phléole, le bacille de Koch, les spirilles de l'eau et de la syphilis, les amibes (infusion de foin en culture mixte), les trypanosomes (tr. de l'huître, tr. de la souris surra), les infusoires (paramécies), les levures (sacch. cerevisiæ, sacch. saturnus), les globules rouges et blancs (sang humain, sang de souris et de grenouille), et enfin un grand nombre de frottis d'organes divers.

Cette fixation est produite seulement par les radiations qui traversent le quartz et non le verre, c'est-à-dire ayant une longueur d'onde inférieure à 3.021. Elle est localisée aux points sur lesquels tombent les radiations. Cette localisation peut être rendue très nette en recouvrant par un écran une moitié d'une préparation de sang desséchée, qu'on expose aux rayons ultra-violets. Si ensuite on met sur la lame une goutte d'eau distillée, on voit au microscope une hémolyse immédiate se produire au niveau des globules, qui n'ont pas subi l'influence ultraviolette, tandis que les autres restent intacts. Sur la

ligne de séparation des zones irradiées et non irradiées, les globules qui s'y trouvent à cheval montrent une tranche irradiée et une tranche hémolysée.

Les rayons ultra-violetts modifient également l'affinité qu'ont certains microbes de fixer les matières colorantes. Cette propriété est partiellement détruite.

Les auteurs ont employé le bleu azur II (1 p. 1.000 dans l'eau), la rubine S (à saturation dans l'eau), l'éosine (1 p. 100 dans l'eau), le violet de gentiane (1 p. 100 dans l'eau), le violet de gentiane phéniqué, la thionine phéniquée et le Ziehl.

Quand l'action des rayons ultra-violetts est un peu prolongée, la coloration des microbes devient impossible. Le corps bactérien est comme désagrégé et il y a des figures de bactériolyse.

Ces modifications de la colorabilité s'observent également bien, soit que les microbes soient en émulsion dans l'eau, soit qu'il s'agisse de préparations riches non fixées par la chaleur ou par l'alcool.

Dans d'autres cas, la colorabilité est pour ainsi dire pervertie. Ainsi, les globules rouges de la grenouille qui, normalement, ne prennent pas le bleu azur II, se colorent au contraire très fortement par cette substance, s'ils ont été préalablement irradiés. De même les spores qui, à l'état normal, ne se colorent point par les colorants précédents sans mordantage préalable, prennent directement ces divers colorants après exposition à la lampe à mercure.

La réaction de Gram subit une modification analogue : les microbes qui prenaient le Gram ne le prennent plus s'ils sont influencés par les rayons ultra-violetts. Il en

est ainsi pour le bacille charbonneux, le staphylocoque, le streptocoque, le bacillus subtilis, le bacille tétanique, le bacille de Koch, que ces microbes soient en émulsion aqueuse ou qu'ils soient desséchés sur lame.

Enfin, les rayons ultra-violets modifient l'acido-résistance. Le bacille tuberculeux et le bacille Phléole perdent cette propriété après irradiation; toutefois, cette perte n'a lieu qu'en cas de préparation desséchée (32).

ARTICLE III. — *Parallèle des actions photo-chimiques et abiotiques des rayons ultra-violets.*

Pour établir ce parallèle intéressant de l'action des rayons ultra-violets d'une part sur les corps chimiques et sur les microorganismes d'autre part, M^{lle} Cernovodeanu et M. V. Henri, en collaboration avec M. Cazaubon, ont eu recours aux réactions photo-chimiques suivantes :

- 1° Décomposition de l'eau oxygénée.
- 2° Décomposition de l'iodure de potassium en présence de l'acide chlorhydrique.
- 3° Décomposition de l'iodure de potassium en présence d'amidon.
- 4° Réaction de Eder entre le bichlorure de mercure et l'oxalate d'ammoniaque.
- 5° Réaction entre le perchlorure de fer et l'acide oxalique.
- 6° Oxydation des leucodérivés de la fluorescéine, de l'éosine (tétrabromofluorescéine) et du rose de Bengale (tétrachlore-tétraiodofluorescéine) ; ces leucodérivés étaient préparés en liqueur alcaline par réduction avec la poudre de zinc. Les réactions d'oxydation étaient effectuées soit sur des substances imbibées de solution, soit sur les solutions des leucodérivés dans la soude $\frac{N}{3}$.

7° Noircissement du papier photographique au citrate d'argent.

Les différentes régions du spectre étaient éliminées au moyen des écrans suivants :

L'écran en viscose perméable aux rayons compris entre les longueurs d'onde 4.000 et 2.534.

L'écran en acétate de cellulose qui laisse filtrer les rayons de 4.000 à 2.699.

L'écran en mica de 0 mill. 05 transparent pour les radiations comprises entre 4.000 et 3.022.

L'écran en verre Euphos, qui arrête le spectre à 3.908.

Afin de rendre comparables les conditions d'aération et de température, les auteurs ont employé pour le spectre total, un écran formé d'une lame de quartz. Enfin, pour comparer entre elles les différentes réactions photo-chimiques, ils désignaient par 10 l'activité correspondant à la partie du spectre qui traverse un écran de verre ordinaire de 1 millimètre d'épaisseur

Pour toutes ces expériences, la source lumineuse était représentée par une lampe W.-C.-H., 110 volts.

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant, dressé par les auteurs :

RÉACTIONS	Euphos	Verre	Mica	Acétate de cellulose	Viscose	Quartz
$H^2O = H^2O + O \dots \dots$	0,8	10	16	40	50	100
$KI + H\ Cl \dots \dots \dots$	»	10	11	»	20	40
$KI + Amidon \dots \dots \dots$	»	10	»	»	»	160
$Hg\ Cl^2 + (NH^4)^2\ C^2\ O^4 \dots$	»	10	»	»	»	80
$Fe^2\ Cl^6 + H^2\ C^2\ O^4 \dots \dots$	»	10	»	»	»	80
Leucodérivés de la fluo- resceïne... ..	4	10	20	40	40	120
Leucodérivés de l'éosine.	4	10	25	20	20	60
Citrate d'argent	1	10	10	12	16	50
Action bactéricide	»	10	12		3.000	10.000

L'étude de ce tableau montre que les rayons les plus bactéricides sont aussi ceux qui produisent les réactions photo-chimiques les plus intenses. Il y a donc un parallélisme constant entre l'action bactéricide et l'action chimique de l'ultra-violet (31).

ARTICLE IV. — *Action sur les toxines.*

De tous les produits solubles élaborés par les microbes, la toxine tétanique a certainement été jusqu'ici la mieux étudiée. La première observation de l'action de l'ultra-violet sur ces produits de l'activité bactérienne est due à MM. Jules Courmont et Th. Nogier. Ces deux auteurs exposaient de la toxine tétanique liquide (culture filtrée) dans un tube, à volet de quartz, devant une lampe de Kromayer fonctionnant sous 3,5 à 5 ampères (135 volts). La toxine était à une distance de 3 à 10 centimètres du foyer. Les temps d'exposition ont varié de 5 à 150 minutes.

En cinq minutes, l'action des rayons est inappréciable. Après une à deux heures et demie, l'atténuation est nette, mais légère, sans élévation de la température.

Les cobayes injectés sous la peau de la cuisse avec cette toxine irradiée n'offrent des contractures qu'à la vingt-cinquième heure et ne meurent qu'en soixante à soixante-douze heures, tandis que les cobayes injectés avec une même dose de la toxine non irradiée, soit 1/500 de centimètre cube, ont des contractures dès la dix-huitième heure, et meurent en quarante-huit heures (37).

En résumé, MM. J. Courmont et Nogier ont obtenu au moyen des rayons émis par la lampe en quartz à va-

peur de mercure une action atténuante, certaine, mais très légère sur la toxine tétanique.

Ces faits publiés dans la séance de l'Académie des sciences, du 8 mars 1909, reçurent une éclatante confirmation, quelques mois plus tard, par la communication de M^{lle} Cernovodeanu et Victor-Henri, qui non seulement étaient arrivés aux mêmes résultats, mais encore avaient pu annoncer la destruction complète de la toxine tétanique par l'irradiation. Voici du reste leurs résultats :

1° *Influence de la dilution.* — « En diluant la toxine avec de l'eau distillée ou avec du chlorure de sodium à 8 p. 1.000, on trouve que l'action de la lumière est d'autant plus forte que la dilution est plus grande. Cette influence de la dilution est due au bouillon, dans lequel se trouve la toxine tétanique. En effet, si l'on dilue de la toxine dans du bouillon frais et qu'on soumette à l'action des rayons ultra-violets, l'action sur cette toxine est aussi faible que sur la toxine non diluée.

2° *Loi de la durée.* — « L'action de la lumière croît bien plus vite que la durée d'exposition. Cette action est presque proportionnelle au carré de la durée.

3° *Action de la température.* — « L'action de la lumière ultra-violette sur la toxine tétanique est presque aussi rapide à 0° qu'à 16° et à 24°. C'est donc une réaction photo-chimique pure

4° *Nature des radiations actives.* — « Les rayons actifs sont ceux qui ont moins de 3,021 comme longueur d'onde.

5° *Indépendance de l'action de l'oxygène de l'air.* — « L'action de la lumière ultra-violette est aussi forte dans

le vide qu'en présence d'air : l'oxygène de l'air, ou l'oxygène dissous dans la solution n'interviennent pas dans cette réaction photo-chimique (29). »

La divergence d'opinion qui existait entre M^{lle} Cernovodeanu et V. Henri d'une part et MM. J. Courmont et Nogier d'autre part résultaient uniquement de ce que ces derniers avaient employé des toxines *pures*, tandis que les deux autres auteurs s'étaient servis de toxines diluées. En un mot, il s'agissait uniquement d'une question de perméabilité, car, comme nous l'avons vu plus haut, les bouillons peptonés ne sont que très peu perméables aux rayons de courte longueur d'onde.

Ce manque de perméabilité de bouillons explique encore l'échec de MM. Nogier et Thévenot dans la stérilisation de bouillons de cultures de divers microbes, indépendamment du rôle joué par le verre. C'est encore à ce facteur⁵ qu'il faut attribuer la lenteur de la stérilisation que ces deux derniers auteurs remarquèrent quand ils opéraient sur des cultures en boîtes de Pétri. Les colonies étant très denses, les premiers microorganismes détruits formaient de leurs cadavres un rempart aux microbes placés plus profondément contre l'action des rayons ultra-violets, qui ne pouvaient ainsi manifester leur influence que difficilement et à la longue. Cette circonstance, jointe à l'opacité naturelle du milieu des boîtes de Pétri, constituaient une véritable difficulté.

La conclusion de tout ceci est donc que pour obtenir un pouvoir bactéricide énergique, il faut, avant tout, faire agir les rayons ultra-violets sur des milieux aussi transparents que possible. Et cela est aussi vrai pour leurs produits solubles que pour les bactéries elles-mêmes.

L'opacité des milieux due, soit aux substances colloïdes qu'ils contiennent, soit à leur coloration, soit enfin à ces deux facteurs, constitue le principal écueil de l'action des rayons ultra-violets sur les microbes et ses applications pratiques.

Signalons, avant de terminer, les expériences de V. Baroni et Jonesco Mihaiesti sur la toxine diphtérique et les toxines végétales.

ARTICLE V. — *Mécanisme de l'action bactéricide des rayons ultra-violets.*

Tout le monde a été d'accord pour admettre la stérilisation des milieux microbiens par les rayons ultra-violets. Toutefois, la façon dont agissent ces radiations a soulevé quelques discussions. Tous ne voulurent d'abord pas admettre l'action directe de ces radiations et certains prétendirent qu'elles agissaient par formation d'ozone ou d'eau oxygénée.

Il est aujourd'hui absolument incontestable, ainsi que l'ont établi les recherches de van Aubel, de Miroslaw Kernbaum et quelques autres, qu'il se forme de l'eau oxygénée dans l'eau et de l'ozone dans l'air. Mais ainsi que nous l'avons établi pour l'eau oxygénée, il faut un temps relativement très long avant que ce corps apparaisse : Miroslaw Kernbaum n'a pu la constater de façon nette qu'après *dix heures* d'irradiation. Van Aubel après *quatorze heures*. Après vingt minutes d'irradiation, MM. Courmont, Nogier et Rochaix n'ont pu en déceler la moindre trace.

Quant à l'ozone, sa production est encore fonction

d'une durée très longue, puisque Van Aubel, son défenseur à outrance, n'a pu la déceler qu'au bout de *deux heures et quart* d'irradiation. La polymérisation de l'oxygène est, en effet, gênée par la présence de l'azote dans l'air. C'est pourquoi MM. Daniel Berthelot et H. Gaudechon ont pu montrer qu'il était impossible d'en déceler la moindre trace pour des irradiations de très courtes durées, et ici, par courtes durées, il faut encore entendre *quelques dizaines de minutes*.

Mettons en regard maintenant la durée que nécessite la stérilisation d'une émulsion microbienne en milieu convenablement choisi, sous l'influence des rayons ultraviolets : comme nous venons de le voir, il s'agit à peine de quelques dizaines de secondes, 60 environ pour les plus résistants. En conséquence, il serait puéril de vouloir s'acharner à attribuer à certains corps, dont la production demande des heures, une action qui ne nécessite que quelques secondes.

Du reste, ces déductions *a priori* sont pleinement confirmées par les expériences qui ont été faites sur cette question. M^{lle} Cernovodeanu et M. V. Henri ont montré que la quantité d'eau oxygénée produite dans l'eau distillée en trente minutes par la lampe W.-C.-H., de 220 volts, correspond environ à une solution 0,000005 normale, c'est-à-dire à 1/5 de milligramme d'eau oxygénée par litre. Or, l'eau oxygénée n'exerce une action stérilisante sur le coli-bacille qu'à une concentration quatre cents fois plus forte. De plus, si l'on fait l'émulsion de coli-bacilles dans une solution diluée d'eau oxygénée (0,000005 normale), l'action bactéricide des rayons ultraviolets n'est pas accélérée (30).

MM. J. Courmont, Th. Nogier et Rochaix ont également expérimenté sur ce sujet : ils se sont demandé quel est le pouvoir stérilisant de l'eau oxygénée. Les chiffres des auteurs ne sont pas concordants. On admet en général ceux de Reichel (1908) : 1,5 p. 1.000, et un contact de six heures, pour tuer le bacille d'Eberth dans l'eau.

J. Courmont et Th. Nogier ont fait plusieurs expériences sur l'eau polluée avec 1.800.000 coli-bacilles par litre. Il faut, pour stériliser cette eau (que les rayons ultra-violets stérilisent en quelques secondes), ajouter à un litre 80 cc. d'eau oxygénée à 9 volumes 80 (soit 1 gr. 188 d'eau oxygénée pure par litre) et maintenir un contact de trois heures. Cette dose d'eau oxygénée est 6.000 fois plus forte (sans parler du contact nécessaire de trois heures), que celle trouvée par Cernovodeanu et V. Henri après trente minutes d'irradiation (42).

De plus, nous avons vu que les rayons ultra-violets étaient susceptibles de faire perdre à certains microbes la réaction de Gram. Cette perte est encore une preuve de l'action *directe* des rayons ultra-violet. En effet, l'eau oxygénée, même en concentration forte (1/100 normale), ne modifie pas la réaction de Gram.

Nous trouvons enfin un dernier argument en faveur de l'action *directe* des rayons ultra-violet dans leur action destructive sur les toxines. Ces produits solubles sont, comme nous l'avons vu, inactivés par une exposition de très courte durée aux radiations de courte longueur d'onde. Ils sont, au contraire, exaltés dans leur virulence par des doses très faibles d'eau oxygénée telles qu'il pourrait s'en produire pendant ces irradiations de courte durée.

La conclusion s'impose : l'action destructive qui se manifeste vis-à-vis des microbes ou de leurs produits solubles sous l'influence des rayons ultra-violet, est bien *le fait de l'action directe* de ces radiations et non celui des produits oxydants, tels que l'ozone ou l'eau oxygénée, qui se développent quand on prolonge pendant des heures leur action. On peut même dire qu'il s'agit là d'un pouvoir *formidable*, si l'on songe qu'en quelques secondes ces radiations stérilisent une eau que ne stériliserait pas en trois heures l'eau oxygénée à la dose de 1,188 pour 1.000.

CHAPITRE II

Action de l'ultra-violet sur les champignons inférieurs.

En raison du peu d'applications pratiques que pouvait recevoir l'étude de l'action des rayons ultra-violet sur ces représentants pluricellulaires inférieurs de la série végétale, cette étude n'a pas été encore très approfondie. Toutefois, nous allons relater les deux ou trois publications concernant les moisissures et quelques blastomycètes que nous possédons.

ARTICLE I. — *Action sur les moisissures.*

M. Laurent Raybaud a étudié dans cette classe de champignons, le *Phycomyces nitens*, le *Rhizopus nigricans*, et le *Stérygmatochytyis nigrans*. Pour cela, il emploie une lampe en quartz à vapeurs de mercure de la société A. E. G., qui fonctionne sous 220 volts avec un courant de 35 ampères. Le spectre obtenu au moyen de prismes est projeté normalement sur une culture horizontale et s'étale en un rectangle très allongé de 15 centimètres 8 sur 1 centimètre 7. Ce spectre est photographié de façon à ce que l'on puisse repérer très exactement la position des raies. Voici les résultats obtenus :

« 1° Les champignons soumis aux conditions décrites dessinent un spectre biologique qui coïncide exactement, autant qu'on peut le constater, avec le spectre photographique.

« 2° L'action des radiations du spectre sur la culture n'est cependant pas toujours proportionnelle à l'impres-
sion qu'elles laissent sur le papier aux sels d'argent.

« 3° Elle l'est pour la zone moyenne ultra-violet (3.030-2.480), qui est la plus nocive.

« 4° Elle ne l'est généralement plus pour les deux zones situées de part et d'autre de cette dernière, et où la nocivité va en diminuant à mesure que l'on s'éloigne de cette région ultra-violet pour marcher vers les deux extrémités du spectre.

« Pour les courtes longueurs d'onde, l'action des radiations est encore sensible sur la culture, alors qu'elle ne se manifeste plus sur le papier photographique. Au contraire, inversement pour les grandes longueurs d'onde qui dessinent sur le papier au citrate d'argent de fortes lignes noires, la nocivité pour les champignons est presque nulle (88). »

Comme on le voit, la zone nocive du spectre ultra-violet pour les champignons ne serait pas complètement superposable à la zone bactéricide qui s'étend 255 unités plus bas. Cela peut tenir au diamètre des filaments mycéliens qui, en général, est beaucoup plus grand que celui des bactéries. Nous savons, en effet, que plus les rayons ultra-violets ont une longueur d'onde faible, moins ils sont pénétrants et plus leur action est superficielle. C'est pourquoi l'on peut facilement admettre que les radiations situées en-dessous de 3.480 Å, n'ont plus la force de pénétration suffisante pour intéresser le protoplasma dans toute l'épaisseur du mycélium et de ses diverses modalités de reproduction.

Nous voudrions aussi mettre en évidence un détail qui

semble en désaccord avec les résultats obtenus par d'autres auteurs. En effet, M. Laurent Raybaud a constaté que le papier au citrate d'argent était plus fortement impressionné par les radiations à grande longueur d'onde, et d'après le texte, il s'agit certainement de longueurs d'onde supérieures à 3,030. Or, M^{lle} Cernovodeanu et M. Victor ont abouti à des résultats *contraires*. En effet, ainsi que nous l'avons vu, en modifiant l'étendue du spectre ultra-violet, au moyen d'écrans en substances diverses, ils ont montré que l'activité photochimique, pour les écrans arrêtant le spectre à 3,022, était égale à 10, tandis que pour les écrans de quartz, qui laissent filtrer tout le spectre ultra violet du mercure, jusqu'à 2,225 et au delà, l'activité photochimique des rayons de courte longueur d'onde était égale à 50.

Les résultats de M. Laurent Raybaud sont donc en contradiction avec ceux de M^{lle} Cernovodeanu et de M. V. Henri. A quoi cela peut-il tenir ? Il serait assez difficile de le dire, quoique cependant on puisse, à la rigueur, incriminer la différence dans les émulsions des papiers sensibles qui leur ont servi de témoins. C'est là, en effet, une grosse cause d'erreur dont il faut savoir se défier.

ARTICLE II. — *Action sur les levures.*

Quelques auteurs ont expérimenté l'action des rayons ultra-violets sur deux levures des plus communes : le *Saccharomyces cerevisiae* et le *Mycoderma aceti*. Toutefois, comme leurs expériences ont été plutôt faites dans un but pratique, nous renverrons cette étude un peu plus loin, à la partie des applications.

CHAPITRE III

Action de l'ultra-violet sur les plantes vertes.

Toutes les radiations ultra-violettes ne se comportent pas de même vis-à-vis des plantes à chlorophylle. Cette différence d'action est fonction de la longueur d'onde. Ainsi, au-dessus de $\lambda = 3.000 \text{ \AA}$, les radiations ultra-violettes sont utiles à la vie végétative de la plante, elles sont captées par la fonction chlorophyllienne qui utilise leur énergie photo-chimique pour opérer la synthèse des diverses substances constitutantes de la plante. Ces radiations sont ce que nous avons déjà appelé, avec Th. Nogier, les *rayons biotiques*.

Au contraire, les actions exercées par les rayons de longueur d'onde plus courte que $3.000 \text{ \AA}$ sont nuisibles à la plante, ainsi que nous allons le voir. Cette catégorie de radiations a été désignée par Dastre sous le nom de *rayons abiotiques*. Nous connaissons déjà leurs effets destructeurs vis-à-vis des bactérie.

C'est pourquoi nous diviserons cette étude en deux parties, d'après ces différences d'actions de l'ultra-violet.

ARTICLE I. — Action abiotique des rayons ultra-violet sur les plantes vertes.

1^o Action sur les plantes à chlorophylle en général.

La première observation que nous possédions sur l'influence exercée par les lampes en quartz à vapeur de

mercure est due à M. Th. Nogier. Cet auteur présenta le résultat de ses expériences au Congrès de Clermont en 1908.

Ses recherches ont porté sur des plants de *Géranium*, de *Camatia esculenta* et de Haricot. Les plants étaient choisis aussi semblables et aussi vigoureux que possible, placés dans des pots de même grandeur depuis plusieurs semaines. Les uns étaient irradiés, les autres servaient de témoins. Entre les irradiations, les pots étaient placés dans la même salle, par suite, dans les mêmes conditions de chaleur et de lumière, recevant par jour, chacun, 100 cc. d'eau d'arrosage.

Les géraniums sont soumis pendant trois jours consécutifs à une irradiation variant de quinze à vingt minutes, à une distance de 10 centimètres du brûleur. Les effets obtenus sont les suivants : les feuilles sont flétries, comme si elles avaient été brûlées, et à 10 centimètres de la lampe les actions calorifiques sont négligeables. Les feuilles qui n'ont pas reçu la lumière sont intactes; l'éclosion des fleurs n'avance pas. Deux jours après, les géraniums sont brûlés et presque secs. Quelques petites pousses seules ont échappé à la destruction. Les fleurs n'ont pas éclos. Enfin, au bout de quatre jours, ils commencent à donner péniblement quelques nouvelles pousses sans vigueur.

Avec le *Camatia esculenta*, les faits se passent à peu près de même. A 20 centimètres de la lampe, des plants vigoureux, et dont les boutons floraux sont ouverts en grande partie, reçoivent, deux jours consécutifs, une irradiation de trente minutes le premier jour et de quarante-cinq minutes le second. Le jour suivant, on cons-

tate une légère décoloration; le jour après, les plants jaunissent, les fleurs, à demi ouvertes, sont maintenant complètement ouvertes, mais celles qui étaient en bouton n'ont pas progressé. Trois jours après la dernière irradiation, les plants commencent à se dessécher, et les boutons floraux inclinent la tête. Puis, le jour suivant, les feuilles sont complètement sèches et les plants presque morts.

Le haricot se montre plus sensible que les deux plantes précédentes : une seule irradiation de trente minutes le fait mourir en quatre ou cinq jours.

M. Nogier eut ensuite l'idée de voir quels pourraient être les effets de l'eau irradiée sur les végétaux. Pour cela, il faisait circuler lentement de l'eau dans la lampe de Kromayer allumée. L'eau recueillie à l'orifice de sortie servait à l'arrosage de semis de *ray-gras anglais* et de *géraniums adultes*. Le semis de ray-gras reçut pendant une quarantaine de jours 50 cc. de cette eau; les géraniums en recevaient 100 cc. pendant un laps de temps égal. Des plantes témoins étaient arrosées pendant ce même temps avec une quantité égale d'eau ordinaire. Au bout de quarante jours révolus, l'auteur constata qu'il n'y avait aucune différence entre les pots ayant reçu l'eau irradiée et ceux qui avaient été arrosés avec l'eau ordinaire. Il lui sembla même que le ray-gras traité à l'eau irradiée avait un peu exagéré sa croissance.

Des algues (*Cladophora* et *Spirogyra*) placées dans de l'eau irradiée se comportaient sensiblement comme celles vivant dans de l'eau ordinaire. L'examen microscopique ne révélait pas la moindre modification, tant dans leur forme que dans la structure de leur protoplasma (81).

L'année suivante, les travaux de Nogier étaient confirmés par MM. Maquenne et Demoussy, qui s'étaient livrés à des expériences analogues sur le troène, le chrysanthème, le lierre et le *Tradescantia*, à l'aide de la lampe de Hércules (110 volts). Leurs conclusions sont les suivantes :

« 1° Les rayons ultra-violets déterminent la mort des cellules végétales dans un espace de temps relativement très court, et comparable à celui qu'exige la stérilisation d'un liquide contaminé. Leur action est surtout de surface, parce qu'ils sont peu pénétrants.

« 2° Le noircissement des feuilles, et plus généralement les changements de pigmentation qui s'observent sur les plantes exposées à la lumière directe de l'arc, sont exclusivement dus à la prédominance dans cette lumière des rayons ultra-violet. Ils sont la conséquence de la mort du protoplasma et non, comme on le croyait jusqu'ici, l'effet immédiat de l'insolation électrique (74). »

L'action de la lumière ultra-violette est donc néfaste pour les végétaux, si la source d'ultra-violet est artificielle, émettant des rayons de courte longueur d'onde, comme le fait la lampe en quartz à vapeur de mercure, dont se sont servis les auteurs. Cette action se fait sentir après un stade de latence de quarante-huit heures environ (Nogier). Certains végétaux se montrent plus sensibles que d'autres, tel le haricot, par exemple. Enfin, les organes floraux semblent particulièrement souffrir de cette influence, qui exerce sur eux une action inhibitrice, bientôt suivie de mort.

2° Action sur les plantes à coumarine et à glucosides dédoublables.

Les plantes à coumarine ne dégagent leur odeur caractéristique qu'au fur et à mesure que la cellule se déshydrate par la dessiccation ou sous l'influence d'un agent artificiel provoquant la plasmolyse, tel que le gel et quelques anesthésiques, comme l'a montré Heckel.

M. Pougnet a eu récemment l'idée d'expérimenter l'action des rayons ultra-violets sur ces plantes. Pour cela, il eut recours à l'action de la lampe en quartz à vapeurs de mercure du Dr Nagelschmidt fonctionnant sous 110 volts et 4 ampères. Ces expériences portèrent sur le *Mélilot* off. Lam., l'*Asperula odorata* L., l'*Anthoxanthum* L., l'*Herniaria glabra* L.

Chaque plante était irradiée à des distances diverses et pendant des temps différents. La température moyenne était notée soigneusement chaque fois.

Les résultats obtenus par l'auteur se résument ainsi :

1° *Asperule odorante*. — Les temps d'action nécessaires pour obtenir l'odeur caractéristique de coumarine sont en raison directe de la distance de la plante à la lampe. C'est ainsi qu'à 40 centimètres, il faut trente minutes, alors qu'à six centimètres, trois minutes suffisent. La plante fonce légèrement.

2° Le *Mélilot officinal* se comporte sensiblement de même, mais reste vert.

3° L'*Anthoxanthum odoratum* manifeste son odeur en quinze minutes, à vingt centimètres de la lampe. Cette plante est un peu plus résistante que les précédentes qui, à une telle distance, exhale leur odeur en dix minutes. Les feuilles brunissent légèrement.

4° L'*Herniaria glabra* se montre encore plus résistante que l'*Anthoxanthum* : à 20 centimètres du brûleur, elle n'abandonne son odeur légère de coumarine qu'en quarante minutes.

L'examen microscopique pratiqué au moment où l'odeur commençait à se dégager, montrait des sacs protoplasmiques déjà détachés et ayant subi un commencement de contraction, qui se continuait d'elle-même, sans qu'il fût besoin de faire intervenir à nouveau l'action des rayons ultra-violets.

Parmi les plantes de même espèce, qui étaient irradiées, les unes recevaient les rayons à travers une plaque de verre, qui éliminait les rayons ultra-violets (de courte longueur d'onde) en laissant filtrer les rayons calorifiques. Jamais, dans ces conditions, on ne percevait d'odeur sensible chez ces plantes.

De même enfin, un lot de chaque espèce de plante était conservé à l'abri de la lumière ultra-violette : on constatait que ces plantes ne dégageaient leur odeur que deux ou trois jours après.

En ce qui concerne les plantes à glucosides dédoublables, l'auteur a expérimenté sur quelques crucifères et sur la feuille du laurier-cerise. Chez ces végétaux, comme du reste, dans les plantes à coumarine, l'essence ne préexiste pas. M. Guignard a pu localiser les principes qui réagissent pour donner ces essences.

Les expériences de M. Pougnet ont porté sur le cresson, les feuilles de cochléaria, le raifort et les feuilles de laurier-cerise.

Le cresson, le cochléaria, le raifort exhalent leur odeur en dix minutes, à 10 centimètres de la lampe à mercure;

avec le laurier-cerise, une telle distance ne demande que cinq minutes d'irradiation.

L'auteur a encore pratiqué ici l'examen microscopique de coupes de ces plantes irradiées. Le protoplasma se montrait mortellement atteint, tandis que les ferments résistaient encore et réagissaient sur les glucosides pour donner l'essence correspondante. De plus, ces coupes, traitées à chaud par le réactif de Millon, montraient de façon nette la présence de la myrosine, dans le raifort et de l'émulsine dans le laurier-cerise (86).

M. Pougnet termine ainsi l'exposé de ses intéressantes recherches :

« Il y a mort de la cellule; tous les autres phénomènes n'en sont que la conséquence.

« Les rayons ultra-violetts sont donc avant tout des désorganiseurs du protoplasma, des destructeurs de la cellule.

« La *peur de la mort* étant le caractère essentiel du protoplasma, et tous les travaux qui s'accomplissent dans ce merveilleux laboratoire obéissant à cette grande loi de défense, il semble que la cellule, sachant par atavisme se défendre contre toutes les causes naturelles connues de destruction, se trouve surprise et désarmée devant cet ennemi nouveau qu'une atmosphère amie arrêtait au passage (87). »

Le dédoublement des glucosides que signale M. Pougnet chez certaines plantes, sous l'influence ultra-violette, n'est que la continuation *in vivo* d'une action analogue signalée déjà par Lesure sur l'aucubine, la gentiopicroine et l'arbutine, ainsi que nous l'avons vu,

3° Action sur la germination des graines.

M. Laurent Raybaud s'est livré à d'assez intéressantes expériences sur le cresson alénois (*Lepidium sativum*), dont il étalait les graines à 1 m. 50 d'une source d'ultra-violet. Ces graines reposent sur une couche de terre dont les conditions d'humidité sont absolument semblables sur toute la surface ensemencée. Un tiers des graines est exposé à l'insolation directe par les rayons ultra-violet; le reste est protégé, partie par un écran en verre arrêtant le spectre au-dessous de 3.000 Å, partie par un écran en bois arrêtant tout rayon.

L'auteur résume ainsi ses expériences :

« 1° Les radiations ultra-violettes, même lorsqu'elles sont mortelles à la plante développée, permettent la germination. Cette résistance des toutes jeunes plantules s'explique par leur mode de vie, à ce stade (elles vivent aux dépens de leurs réserves et n'ont pas besoin d'assimiler par leurs parties externes. La respiration et la transpiration se font par les surfaces non atteintes ou par les fentes du tissu mort superficiel) et par la propriété que possèdent les radiations nocives de faible longueur d'onde d'être absorbées par des épaisseurs infimes de substances.

« 2° La mort de la plantule survient après la formation de la chlorophylle. Celle-ci, dont la production est activée par les radiations ultra-violettes du spectre les plus rapprochées du violet de 3.600 Å à 3.300 Å, est au contraire détruite par les radiations de faibles longueurs d'onde.

« 3° Le cylindraxe central hypocotylé devient excen-

trique sous le rayonnement de la lampe à vapeur de mercure. Cette position est due à la formation de cellules rectangulaires allongées radialement dans la partie blessée (90). »

En résumé, les graines ne doivent leur salut à l'égard des radiations ultra-violettes inférieures à 3.000 qu'à leur mode de vie spécial et à l'épaisseur relative de leur tégument.

ARTICLE II. — *Action biotique des rayons ultra-violetts sur les plantes vertes.*

Nous venons de voir la néfaste influence sur les plantes vertes des radiations dites abiotiques. Il nous reste à voir comment se comportent les radiations que, par opposition aux précédentes, nous avons surnommées *biotiques*, quand elles sont captées par le pigment chlorophyllien de ces plantes.

Avant les travaux de synthèse photochimique de MM. Berthelot et Gaudechon, on soupçonnait les processus chimiques mis en œuvre par la cellule végétale pour aboutir à la formation des principes végétaux. Nous avons vu la description qu'en avait donnée Berthelot père : décomposition de CO_2 en CO , décomposition de H_2O en H_2 et oxygène, combinaisons de H_2 à l'état naissant avec CO , pour former H-CHO ; enfin, polymérisation de ce dernier corps avec formation de divers hydrates de carbone. Mais tout cela n'était qu'hypothèse, car les principaux termes avaient été réalisés par ce savant à l'aide de procédés inconnus à la cellule végétale.

Avec l'activité photochimique des sources riches en rayons ultra-violetts, comme nous l'ont révélé les travaux

de Berthelot et Gaudechon, nous nous sommes rapproché le plus près possible des procédés de l'activité biochimique. C'est ainsi que la température des réactions est abaissée, et l'on observe au-dessous de 100° des oxydations et des décompositions qui ne se produisent habituellement qu'à la température du rouge; la vitesse des réactions est accélérée; elles sont réversibles. Enfin, ces rayons jouissent d'un grand pouvoir de polymérisation, le degré de condensation que l'on atteint étant rapidement très élevé, ainsi que nous l'avons vu pour l'acétylène avec laquelle on obtient immédiatement un polymère solide sans traces de benzène.

Comme nous le remarquons, ces traits rapprochent l'action de la lumière de l'activité chimique des êtres vivants et principalement des végétaux. Ainsi donc, « le mécanisme photo-chimique paraît beaucoup plus voisin que les anciens procédés de laboratoire dans la marche suivie par la nature dans la formation des principes végétaux et permet de s'en faire l'idée suivante :

1° Synthèse (aux dépens de la vapeur d'eau, de CO^2 et de l'ammoniaque) des composés méthylés tels que formaldéhyde, amide formique, acide formique.

2° Condensation immédiate des produits formés.

3° Décomposition ultérieure des corps condensés par fermentations, processus photo-chimiques ou autres semblables (12). »

La synthèse des premiers corps, ainsi que la condensation de l'aldéhyde, a été réalisée au moyen des sources artificielles d'ultra-violet, pourquoi ne le serait-elle pas dans les végétaux à chlorophylle par l'ultra-violet solaire, avec, naturellement, beaucoup plus de lenteur ?

La chose paraît d'autant plus vraisemblable que les trois termes nécessaires à ces processus synthétiques semblent être réunis tout prêts par la plante, l'anhydride carbonique dans l'atmosphère, l'eau et les sels ammoniacaux dans le sol. La plante a rassemblé les matériaux; il ne manque plus que l'agent pour les préparer (décomposition) et les assembler (synthèse). Ce que ces radiations sont capables de faire artificiellement, pourquoi ne le feraient-elles pas naturellement ?

QUATRIÈME PARTIE

ACTION DE L'ULTRA-VIOLET SUR LES ANIMAUX

Avant d'aborder l'étude de l'action de l'ultra-violet sur les divers représentants de la série animale, nous croyons de notre devoir de rappeler les actions diverses de ces radiations. Ici, comme nous l'avons fait dans la partie précédente, il est utile d'établir une distinction entre l'ultra-violet ordinaire d'une part, et l'ultra-violet moyen ainsi que l'ultra-violet extrême d'autre part. Les premières radiations constituent, comme nous le savons, la partie biotique du spectre ultra-violet, les secondes en représentent la partie abiotique.

Par suite, suivant que nous aurons affaire aux unes ou aux autres, nous obtiendrons des effets différents et en apparence contradictoires. C'est ainsi que dans le chapitre qui concerne les protozoaires, nous avons surtout en vue l'action nocive de l'ultra-violet pour le protoplasma animal. Par contre, en ce qui concerne les représentants pluricellulaires de la série animale, nous envisagerons surtout les effets bienfaisants sur ces êtres des radiations de l'ultra-violet ordinaire. Enfin, chez l'homme, nous envisagerons ces deux effets contraires.

Nous diviserons cette étude en deux chapitres : le premier sera consacré aux infiniment petits de la série animale, protozoaires et trypanosomes; le second sera réservé aux êtres pluricellulaires de la série.

CHAPITRE PREMIER

Action des rayons ultra-violetes sur les animaux unicellulaires.

Ce chapitre sera très bref. Nous ne possédons, en effet, actuellement que deux observations sur ce sujet. Ce sont celles de MM. Bordier et Horand, de Lyon, qui ont étudié l'action de la lampe de Kromayer sur ces petits organismes, dans le laboratoire de notre éminent maître, le professeur Jaboulay. Elles sont de date tout à fait récente, puisqu'elle ne remontent qu'au printemps dernier.

Les auteurs ont expérimenté à la fois sur les protozoaires et les trypanosomes.

a) *Action sur les protozoaires.* — Avant d'indiquer la technique et les résultats de leur expérience, MM. Horand et Bordier se livrèrent à quelques intéressantes considérations sur le mode de locomotion des amibes étudiées à l'ultra-microscope. « L'amibe, disent ces auteurs, est, comme on sait, un simple grumeau de protoplasma de forme changeante, par suite des changements pseudopodiques émis; mais l'amibe ne se contente pas de changer de forme, elle se déplace, elle se meut dans le liquide où elle vit.

« Quand elle a sa forme statique, de repos, on la voit animée quelquefois de mouvements rappelant le mouve-

ment pendulaire de torsion. Grâce à ces divers mouvements, il sera donc facile de savoir si l'amibe vit encore ou est frappée de mort, car, dans ce dernier cas, tout mouvement a disparu. La puissance vitale de l'être égale zéro. Nous nous sommes assuré que nous avions bien des amibes en les colorant suivant la méthode de Giemsa, ou mieux de Leishmann. »

Comme nous l'avons dit MM. Horand et Bordier se sont servis de la lampe de Kromayer, dont il ont fait agir les rayons sur une préparation entre lame et lamelle et sur un peu de liquide libre. La lamelle de verre constitue évidemment un fort élément d'erreur, puisque nous savons que le verre absorbe certains rayons ultra-violets. Toutefois, les auteurs n'estiment qu'à $1/10^e$ la proportion de rayons ultra-violet absorbés par le verre de la lamelle, mais ils omettent d'en signaler la longueur d'onde.

Dans le cas de la préparation entre lame et lamelle, cette préparation fut appliquée immédiatement contre la fenêtre de quartz, la lamelle étant tournée du côté du quartz. Pour la culture en liquide libre, la distance de la lampe au liquide était de 7 centimètres, afin d'éviter l'action de la chaleur qui se fait sentir jusqu'à 4 centimètres de la fenêtre. La lampe était inclinée de telle sorte que les rayons puissent rencontrer le liquide avec la plus petite incidence.

Après action de la lampe, les cultures irradiées furent examinées au microscope à éclairage sur fond noir. Cet examen montra que l'action de l'ultra-violet était manifeste, puisque tout mouvement des amibes avait cessé (24).

b) *Action sur les trypanosomes.* — MM. Bordier et Horand, poursuivant leurs expériences sur l'action des

rayons ultra-violetes sur les individus unicellulaires de la série animale ont étudié cette action sur les trypanosomes, et en particulier sur le trypanosome Lewisi. Une gouttelette de sang d'un rat inoculé à l'Institut Pasteur, était placée entre lame et lamelle, lutée à la paraffine et exposée à l'action des radiations de la lampe de Kromayer, la lamelle appliquée contre la fenêtre refroidie de la lampe.

Après quinze secondes d'insolation, l'examen à l'éclairage sur fond noir fut pratiqué: il révéla encore la cessation de tout mouvement des trypanosomes. Il fut même impossible de retrouver les cadavres de ces flagellés; leur forme s'était complètement modifiée pendant l'irradiation.

Les auteurs constatèrent en même temps une altération des globules rouges du rat qui apparurent crénelés. L'hémoglobine aussi avait subi les modifications que nous connaissons, c'est-à-dire sa réduction et sa transformation en méthémoglobine (25).

CHAPITRE II

Action de l'ultra-violet sur les animaux pluri-cellulaires.

L'étude de l'action des rayons lumineux sur les animaux pluricellulaires n'est pas des plus récentes. De plus, elle ne se rapporte pas spécialement et uniquement à la portion invisible située au delà du violet; elle comprend encore l'action des autres rayons actiniques, c'est-à-dire des rayons bleus et violets, quoique à un titre moindre.

Nous diviserons cette étude en deux parties. Dans la première, nous étudierons l'action des rayons chimiques sur les invertébrés et vertébrés inférieurs; la seconde sera consacrée à l'homme, à son légument et à son organe de la vue principalement.

ARTICLE PREMIER. — *Action des rayons chimique sur les invertébrés et sur les vertébrés inférieurs.*

A. — **Phénomènes mécaniques.**

Il s'agit de phénomènes de photomotricité ou d'héliotropisme.

R. Dubois a montré que le siphon d'un mollusque la-

mellibranche, la pholadedactyle, s'incurve du côté de la lumière si elle lui arrive latéralement. Il y a aussi contraction de la face éclairée. Parmi les annélides tubicoles, le Spirographe Spallanzani et le Serpula Uncinata orientent leur tubes de façon à recevoir perpendiculairement les rayons lumineux sur leur couronne tentaculaire (47).

Le même auteur a montré que chez les Eféterides lumineux, le Pyrophore Noctiluque se dirige dans l'obscurité tantôt d'un côté, tantôt de l'autre, selon qu'on masque l'un ou l'autre de ses fanaux prothoraciques. La marche n'est pas rectiligne, mais curviligne, à concavité tournée du côté de la lumière (48).

Bien plus intéressants, au point de vue qui nous occupe, sont les mouvements déterminés par les lumières colorées. John Lubbock (*Action de la lumière sur les fourmis*, Ameisen, Bilnen, Wespen, 1883) a vu les fourmis sur lesquelles il expérimentait se placer presque toutes dans la zone ultra-violette du spectre, invisible pour nous ⁽¹⁾.

Toutefois, s'il y a des animaux qui sont attirés du côté de l'ultra-violet, il en est d'autres, par contre, qui le fuient. C'est ainsi que Paul Bert a pu montrer que les Daphnies se réfugient de préférence dans les zones jaunes et vertes du spectre. De même les limaces grises, les blattes se dirigent vers le rouge. En 1882, Gruber a aussi pu constater que les lombrics animaux sans yeux, tout comme les salamandres privées artificiellement de la vue, fuyaient les régions violettes et ultra-violettes du spectre.

(1) Pour cet auteur encore, les abeilles auraient pour les couleurs un goût qui irait en croissant du rouge au bleu.

Nous pourrions encore citer, toujours dans le même ordre d'idées, les Pyrophores et le Lampyre, insectes qui fréquentent aussi les portions les moins réfrangibles du spectre. Il en est encore de même pour le Proteus anguineus, ce curieux animal aveugle des grottes de la Carniole qui n'aime que la lumière rouge (R. Dubois, *Sur le Protée à la lumière*).

Enfin, les recherches de Finsen et de Gruber ont montré que les lombrics, le perce-oreilles, les cloportes, se comportaient de même.

Pour concilier des faits en apparence contradictoires, c'est-à-dire phototropisme positif pour l'ultra-violet et phototropisme négatif des autres pour ces mêmes radiations, il faut faire entrer en ligne de compte l'habitat ordinaire de ces différentes espèces d'animaux. Si l'animal vit sous terre ou évite la lumière, il fuira les rayons chimiques; si, au contraire, il affectionne le soleil, nul doute qu'il ne se déplace vers le violet et l'ultra-violet.

Une autre considération qui se dégage aussi de ces observations, c'est que, contrairement à ce que l'on pourrait croire, c'est plutôt la sensibilité cutanée que la sensibilité sensorielle qui est la première impressionnée, et qui semble être le *primum movens* de ces phénomènes de photomotricité. Ces propriétés de réagir positivement ou négativement vis-à-vis des rayons actiniques se manifestent, en effet, à la fois chez les animaux privés d'appareil visuel naturellement ou artificiellement et chez ceux qui en possèdent. Dans ce dernier cas, les deux modes de sensibilité peuvent entrer en jeu.

Enfin, dit Finsen, les rayons chimiques bleus, violets et ultra-violets ordinaires, sont « des promoteurs de vie

et d'énergie ». Cet auteur l'a démontré par de fort belles expériences sur des œufs de salamandre, sur des salamandres nouveau-nées, sur des lêtards, etc. Chez tous ces animaux, l'auteur constata une très grande excitation sous l'influence des rayons chimiques. Parlant de ces expériences, l'auteur conclut ainsi : « Ces observations semblent indiquer que l'action excitante essentielle est spécialement due aux rayons ultra-violetts (51). »

De son côté, Korany a pu constater que l'énergie des mouvements réflexes chez la grenouille était augmentée quand on exposait son tégument à la lumière. Il met en évidence l'action des radiations actiniques seules en filtrant les rayons à travers une solution concentrée d'alun qui arrête les rayons calorifiques (67).

B. — Phénomènes chimiques dus aux rayons chimiques.

Il convient de diviser l'étude de ces phénomènes en deux groupes distincts : modifications du côté des téguments (pigmentation); modifications des processus chimiques de la nutrition sous l'influence de ses rayons actiniques.

α) *Modifications de la pigmentation.* — Chez tous les animaux, la surface la plus exposée aux rayons solaires est généralement la plus colorée; le dos est plus foncé que la face ventrale. On trouve des exemples de ce phénomène un peu partout, chez les mammifères, les reptiles, les oiseaux.

Toutefois, chez les poissons, cette particularité revêt un caractère particulièrement instructif à ce point de vue. Prenons la Plie comme exemple. Chez cet animal, la cou-

leur n'est liée à aucun côté fixe, elle apparaît simplement sur les parties exposées aux rayons solaires. Ce fait à ceci de caractéristique, c'est qu'il nous montre d'abord que la pigmentation chez les animaux est intimement liée à l'action des rayons lumineux, et, en second lieu, qu'elle est fonction uniquement des rayons chimiques, puisque l'eau absorbe à un haut degré les rayons rouges et infra-rouges, mais laisse passer assez facilement les ultra-violets (51).

Un fait encore plus net, est la disparition d'un pigment naturel vert grisâtre, ainsi que l'a réalisé Viré chez le *Gammarus putaneus*, en maintenant cet animal pendant vingt mois dans l'obscurité. Inversement, il a pu faire apparaître un pigment vert brun chez le *Niphargus putaneus* en l'exposant dix semaines à la lumière.

Disons enfin que la pigmentation n'est pas simplement fonction des rayons chimiques, elle est encore en relation directe avec leur intensité. C'est ainsi que les animaux des pays tropicaux possèdent une robe ou un plumage beaucoup plus colorés que ceux de nos climats et que ceux des régions polaires *a fortiori*. Dans ces derniers pays, il existe même une rapport entre les couleurs noires de l'été si riche en lumière et les couleurs blanches de l'hiver si sombre. On a enfin reconnu que les mollusques, les crustacés, les étoiles de mer sont incolores à partir de 200 brasses de profondeur environ.

Nous sommes donc en droit de conclure que les rayons lumineux, et parmi ceux-ci, les rayons ultra-violets principalement, jouent dans la production du pigment un rôle prépondérant.

β) *Modifications des processus chimiques de la nutrition.* — L'influence jouée par la lumière et principalement par les rayons de courte longueur d'onde sur les processus chimiques de l'assimilation serait des plus intenses.

Elle est démontrée par les intéressantes expériences de Yung. Cet auteur abandonna des têtards placés dans des vases colorés jusqu'à ce qu'ils mourussent de faim. Les premiers qui succombèrent furent ceux soumis à la lumière violette, qui avait augmenté leur activité et par suite accru une dépense de forces qu'ils ne pouvaient renouveler (104).

Non moins intéressantes sont les expériences de quelques auteurs sur l'influence de la lumière sur la respiration des animaux. Bien que cette action n'ait pas été rapportée aux radiations chimiques par les auteurs eux-mêmes, nous pouvons le faire sans crainte d'erreur et sans courir le risque de nous montrer trop enclins à accorder aux radiations, qui nous intéressent, une influence ne leur appartenant point.

Parmi les savants qui ont expérimenté dans ce sens, nous citerons Béclard qui a remarqué que la respiration est plus intense à la lumière qu'à l'obscurité; Pott qui vit chez la grenouille la quantité de vapeur d'eau émise par cet animal passer de 1 à 3 de l'obscurité à la lumière; Moleschott qui donna au phénomène une précision plus grande. L'on eût, en effet, pu penser que ces effets n'étaient point dus à l'action directe de la lumière sur le tégument, mais étaient provoqués par les sensations lumineuses transmises au système nerveux au moyen de l'organe de la vision.

Pour couper court à ces objections, Moleschott détrui-

sit les yeux de ses grenouilles au nitrate d'argent. Il put alors se rendre compte que les yeux avaient une influence certaine sur l'émission d'anhydride carbonique, mais que l'action de la lumière sur la peau jouait un rôle encore plus net. Dans le premier cas, les quantités de CO_2 exhalées furent comme 125 (grenouilles intactes, à la lumière) et 100 (grenouilles intactes, à l'obscurité); dans le second cas comme 115 (grenouilles aveugles, à la lumière) et 100 (grenouilles aveugles, à l'obscurité) (77).

De façon encore plus frappante, Fubini a montré l'action de la lumière sur la peau dans le phénomène de la respiration. Sur des grenouilles privées de leurs poumons, il remarqua que le rapport de CO_2 émis à la lumière et à l'obscurité était comme 135 est à 100.

On conçoit facilement l'importance de ces phénomènes. Si, sous l'influence de la lumière, les échanges organiques se font au mieux, n'est-il pas évident que l'animal, qui se débarrasse facilement des produits brûlés, et absorbe une quantité plus grande d'oxygène, aura les processus chimiques de sa nutrition nettement activés.

Citons enfin Marty et Meyer, qui ont montré que chez le rat, la lumière augmente le nombre des globules sanguins tandis que l'obscurité le diminue.

Toutes ces expériences sur l'action de la lumière sur la respiration et la circulation ont évidemment une grande précision scientifique et une haute portée pratique. Malheureusement, elles laissent le champ ouvert à l'objection, du moins en ce qui concerne l'interprétation que nous voulons leur donner.

Ces différents auteurs, en effet, ont expérimenté l'action de la lumière et non de telle ou telle radiation parti-

culièrement. C'est pourquoi l'on peut nous objecter que cette action accélératrice de la lumière sur les phénomènes de la nutrition n'est pas due uniquement aux rayons ultra-violets de la lumière solaire.

C. -- Phénomènes morphologiques dus aux radiations actiniques.

Dès 1825, W. Edwards montra que la métamorphose du têtard en grenouille était retardée par l'obscurité. Plus tard, en 1858, Bécclard, expérimentant sur des œufs de mouche, remarqua un développement plus rapide à la lumière, et que parmi les radiations lumineuses, les radiations bleues et surtout les radiations violettes, étaient plus aptes que les autres à produire ce phénomène.

Vingt ans plus tard, Yung reprit ces expériences avec des œufs de poissons. Ces œufs ne mirent que cinquante-trois jours pour éclore dans un vase violet, tandis que dans un vase vert aucun œuf n'était éclos au bout de soixante-quinze jours.

Plus récemment encore, Leredde et Pautrier ont poussé plus loin que les auteurs précédents la sélection des couleurs dans leur action sur le développement des êtres. Ils opérèrent sur des têtards de *Rana temporaria*, tous de même taille, de même grosseur et de même âge. Un lot de ces animaux fut placé dans un bocal de verre rouge; le second lot dans un bocal de verre bleu violet. Au bout d'un mois de séjour dans ces bocaux colorés, les têtards du bocal bleu violet avaient perdu leur appendice caudal et étaient devenus grenouilles. Ceux du bocal rouge étaient encore têtards.

Ce sont ces mêmes auteurs qui ont montré que, pour

les radiations les plus réfrangibles les phénomènes karyokinétiques de division cellulaire étaient à leur maximum d'intensité (68).

ARTICLE II. -- *Action des rayons ultra-violetes sur
l'homme.*

Dans cette étude, nous laisserons de côté les effets des rayons chimiques sur l'idéation. Tout le monde connaît l'influence énorme que produit la lumière visible sur notre esprit. Qui n'a jamais éprouvé le bien-être moral, les dispositions optimistes que procure une matinée ensoleillée de printemps à tout notre être qui, en de tels moments, goûte singulièrement la douceur de vivre. Et, par contre, quelles pensées noires, quelles préoccupations sombres ne nous envahissent-elles pas les jours de pluie, les jours de brouillard. Cette influence paraît encore plus nette si nous considérons que le caractère des différents peuples semble en relation directe avec l'intensité plus ou moins grande de la lumière. C'est ainsi que les gens du Nord, envers qui la nature semble s'être montrée plutôt avare de lumière, sont froids, beaucoup plus sombres, — tout le monde connaît le spleen des habitants de Londres, — que les Méridionaux, à qui la nature a versé ainsi que des flots de gaité, de mobilité, des flots de lumière.

Quelque indéniable que soit cette influence de la lumière sur notre idéation, nous ne nous en occuperons point, car, dans l'état actuel de la science, il nous semble impossible de rattacher cette influence aux rayons ultra-violetes qui, invisibles, n'impressionnent pas notre rétine.

Par contre, bien plus intéressante est l'action que produisent les rayons ultra-violet sur notre organisme, surtout en ce qui concerne leur action sur nos téguments. Nous diviserons notre étude en deux paragraphes d'inégale importance. Dans la première partie, nous étudierons l'action générale des radiations ultra-violettes, et dans l'autre, leur action sur notre tégument et notre appareil de la vision.

a) *Action générale.* — Cette action est encore trop obscure et trop mal étudiée pour que nous puissions nous étendre longuement. Néanmoins, il est quelques faits bien connus de tous, et qui paraissent n'être que le corollaire de ce que nous avons dit précédemment des modifications des processus chimiques de la nutrition chez les animaux, faits que nous ne saurions passer sous silence.

Dans les pays où la luminosité est très grande, la vie sexuelle commence beaucoup plus tôt que dans les pays entachés de brumes. Ainsi, chez les négresses, la menstruation est tout à fait précoce. Contrairement, elle est tardive et fait parfois complètement défaut chez les femmes esquimaux pendant les six mois de la vie polaire.

Sans aller chercher si loin, dans nos pays, où la luminosité et les brouillards nous sont à peu près également partagés, quels sont les individus les plus robustes et les mieux constitués ? si ce n'est ceux qui vivent constamment au grand air et en pleine lumière. Quelle différence entre le paysan, qui vit constamment hors de sa demeure, et les gens des villes à vie sédentaire !

Bien que difficile que puisse nous paraître l'interprétation de ces faits au point de vue qui nous occupe, nous

pouvons, malgré tout, y voir l'influence bienfaisante des rayons chimiques qui modifient de façon heureuse les processus chimiques de la vie organique. Pourquoi les choses ne se passeraient-elles pas comme chez l'animal, chez lequel nous avons montré que les rayons actiniques accroissaient les échanges organiques, rendaient le développement plus rapide, augmentaient l'appétit et les forces ?

Cette façon de voir, c'est-à-dire la stimulation des échanges organiques par les radiations chimiques semble, du reste, être confirmée par ce fait, que les urines du jour sont toxiques et narcotiques et que les urines de la nuit sont moins toxiques et moins convulsivantes, ainsi que l'a démontré Bouchard.

Enfin, pourquoi ne ferions-nous pas intervenir la pureté de l'air dans les pays à grande luminosité, pureté due sans doute pour une bonne part à l'action bactéricide des rayons ultra-violet ?

b) *Action locale.* — Nous abordons là un côté de la question beaucoup moins ardu, car on a pu reproduire la plupart des phénomènes au moyen des sources artificielles d'ultra-violet. Nous diviserons l'étude de cette action locale de l'ultra-violet en action sur le tégument et en action sur l'appareil de la vision.

1° Action sur le tégument.

Les rayons ultra-violet manifestent leur action sur la peau de deux façons : l'eczéma ou l'érythème solaire et la pigmentation. Pour Finsen, l'érythème solaire cons-

titue la forme aiguë et la pigmentation la forme chronique de la manifestation cutanée.

2) L'érythème solaire apparaît sur les parties du tégument exposées directement au soleil ou sa réverbération à la neige (coup de soleil des glaciers). Il se traduit par de la rougeur, de l'élévation de la température locale, un peu de tuméfaction et de l'hyperesthésie cutanée. La terminaison s'effectue par une desquamation plus ou moins marquée des téguments et une pigmentation.

La caractéristique de l'érythème solaire c'est de n'apparaître que quelques heures après l'irradiation.

La topographie des lésions mérite de nous arrêter quelques instants. Elle diffère, en effet, suivant que l'on a affaire au coup de soleil vulgaire ou au coup de soleil des glaciers. Dans l'un comme dans l'autre cas, les zones du tégument qui sont atteintes sont celles qui sont frappées perpendiculairement par les radiations solaires. Ce qui constitue la différence, c'est que dans les deux cas la lumière n'a pas la même direction : dans le coup de soleil vulgaire, la lumière vient directement d'en haut, tandis que dans le coup de soleil des glaciers, la lumière est réfléchiée et vient d'en bas. En conséquence, dans le coup de soleil vulgaire les zones atteintes seront le dos du nez, la partie supérieure des joues, la face dorsale des mains chez les cyclistes, la face externe de l'avant-bras chez les moissonneurs, chez ceux qui font du canot. Au contraire, en cas de coup de soleil des glaciers, la lumière réfléchiée viendra frapper le menton, la partie inférieure des joues et du nez.

Le soleil n'est pas le seul agent capable de produire de

pareils phénomènes réactionnels du tégument. Les sources artificielles de lumière peuvent, elles aussi, provoquer de semblables désordres. A ce point de vue, il nous faut parler de l'érythème photo-électrique dû à l'arc voltaïque, appelé encore coup de soleil électrique. Une mention enfin doit être faite à l'érythème des verriers dû à l'intense rayonnement lumineux du verre en fusion.

La première observation de coup de soleil électrique est due à Charcot; elle a trait à deux chimistes qui faisaient des expériences de fusion de diverses substances au moyen de l'arc de Volta alimenté par 120 éléments Bunsen. Ils eurent un érythème douloureux des parties du visage frappées par la lumière électrique.

Une autre non moins connue est celle du docteur Defontaine, du Creusot, qui date de 1888.

Citons enfin celle du médecin russe Maklakow, de 1889. Ses recherches furent faites à Kolomna où, dans une grande usine, on soudait les métaux à l'arc électrique. Il se dégageait une lumière tellement intense et nuisible aux ouvriers que ceux-ci préféraient tout autre travail, quoique plus pénible et moins payé. Maklakow se soumit lui-même à l'action de la lumière. Quelques heures après, il commença par éprouver des picotements de la peau qui augmentèrent peu à peu d'intensité; un peu plus tard, un peu plus tard, une sensation de chaleur brûlante une sensation de chaleur brûlante du côté gauche de la figure et du cou se fit sentir. Le soir, la figure était rouge brique et très gonflée. Les douleurs durèrent toute la nuit, toutes les parties qui avaient été exposées à la lumière étaient enflammées. Le lendemain, cette inflammation des téguments augmenta encore : la peau devint

œdémateuse, rouge foncé, chaude, sèche, chagrinée et douloureuse au toucher. Le soir de ce même jour, les symptômes s'atténuèrent un peu, et pendant la nuit l'épiderme commença à se détacher. Au bout de quelques jours, enfin, il avait subi une desquamation scarlatini-forme, laissant après elle une légère pigmentation (73).

Le tout s'était accompagné de phénomènes oculaires que nous relaterons un peu plus loin.

Finsen a fait aussi sur lui-même des expériences qui donnèrent des résultats analogues (51).

Il nous reste maintenant à rapporter ces lésions du tégument à leur cause véritable, aux rayons ultra-violet. C'est Charcot qui, le premier, en 1839, a émis l'hypothèse que ce sont les rayons chimiques et non les rayons calorifiques qui agissent tant dans la dermatite du coup de soleil électrique que dans l'érythème solaire (33).

Bouchard, en 1862, dans ses recherches sur la pellagre, imagina d'étudier l'action sur la peau des diverses couleurs spectrales. Il concentrait chacune d'elles au moyen d'une lentille et plaçait au foyer ainsi obtenu son avant-bras pendant trente secondes. Les résultats furent les suivants :

Les rayons violets produisirent une phlyctène.			
—	bleus	—	une cuisson et érythème.
—	verts	—	un très léger érythème.
—	jaunes	—	une légère cuisson.

Il rechercha ensuite quel était le temps minimum nécessaire pour arriver à une même lésion avec les différentes radiations. Pour obtenir un érythème avec soulèvement de l'épiderme, il fallut douze secondes aux rayons

violet, quinze aux rayons bleus, dix-huit aux rayons verts, dix-sept aux jaunes et dix-huit aux rouges.

Enfin, dans une troisième série d'expériences, Bouchard s'efforça de supprimer la majeure partie des rayons calorifiques en obligeant le faisceau lumineux à traverser une nappe d'eau. Les résultats restèrent de même nature (28).

Il était donc en droit d'affirmer que les effets produits sur la peau étaient bien réellement dus aux rayons chimiques.

Après Bouchard, Widmark, de Stockholm, Hammer, de Stuttgart, devaient confirmer de tous points les recherches de cet auteur.

Le professeur Widmark employait, pour ses expériences, une lampe à arc électrique d'une force de 1.200 becs Carcel. Il éliminait les rayons calorifiques en faisant passer les rayons lumineux à travers une couche d'eau suffisamment épaisse, l'eau ayant la propriété d'absorber les rayons calorifiques. En projetant la lumière au travers d'une plaque de verre ordinaire, il réussit à exclure les rayons ultra-violet. Ces deux sortes de rayons étant alternativement exclus, il put observer les effets suivants produits sur la peau :

1° Par l'action de tous les rayons, exceptés les rayons ultra-violet, la peau ne présenta aucune modification;

2° Par l'action de tous les rayons, sauf les rayons calorifiques, l'inflammation caractéristique se développa (102).

Hammer, de son côté, formulait des conclusions identiques :

1° L'érythème solaire est provoqué par les rayons ultra-violet de la lumière;

2° Une cause importante de cette affection est la désaccoutumance de la peau à la lumière.

3° L'effet isolé de la chaleur sans lumière sur la peau est absolument différent de celui que provoque la lumière :

4° La lumière électrique, à cause de ses rayons ultra-violet, est très excitante pour la peau :

5° Les étoffes ou préparations qui empêchent les rayons ultra-violet de tomber sur la peau protègent celle-ci contre l'érythème solaire (56).

Citons également les très ingénieuses expériences de Bordier faites dans le but de démontrer que l'appareil de Lortet-Genoud agissait bien par les rayons ultra-violet qu'il émettait et non, comme on voulut le prétendre au moment de son apparition, par ses rayons calorifiques. L'expérimentateur fit circuler dans le compresseur de l'appareil une solution d'iode dans le chloroforme : cette solution a la propriété d'arrêter complètement les rayons ultra-violet et d'être perméable aux rayons calorifiques. Or, jamais, dans ce cas, l'application de la peau contre le compresseur, même pendant quatre minutes, ne donna lieu à une réaction quelconque (18).

Qu'il s'agisse de l'érythème solaire ou de l'érythème photo-électrique, il semble solidement établi par ces expériences que l'action des rayons ultra-violet dans la production de ces phénomènes réactionnels du tégument est absolument indiscutable.

Toutefois, la meilleure preuve d'une telle action consiste à pouvoir reproduire ces phénomènes avec une source lumineuse ne donnant à peu près que des rayons ultra-violet. Or, c'est justement ce que l'on a pu réaliser

avec la lampe de Kromayer. On peut obtenir un érythème caractéristique en irradiant, au moyen de cette lampe, la peau à distance (environ 12 centimètres entre la lampe et la peau). « Les effets de la lumière ne s'étendent alors que sur l'épiderme ou tout au plus sur la couche supérieure du tissu conjonctif, dit J. Wetterer (de Mannheim-Bade). La réaction de la partie irradiée se déclare dix à quinze heures après le traitement. Elle débute par une rougeur plus ou moins intense de la peau (érythème), qui atteint son maximum en vingt-quatre heures environ, accompagnée de cuissons et de démangeaisons. Quelques jours plus tard, la rougeur commence à régresser; l'épiderme s'écaille; seule une pigmentation légère subsiste encore quelque temps, indiquant le champ d'action du processus inflammatoire accompli (101). »

β) *La pigmentation.* — Nous avons vu que l'érythème laissait après lui une légère pigmentation.

Ce phénomène, qui constitue la forme chronique de l'érythème aigu, selon Finsen, peut évoluer de deux façons différentes, suivant que les parties du tégument qui en sont le siège demeurent ou non exposées à l'action des rayons ultra-violets. Dans nos pays, nous voyons ces cas de pigmentation durable chez les individus qui travaillent constamment en plein soleil; tels sont les paysans, les marins, les cyclistes, les automobilistes, les canotiers. Chez ces travailleurs, c'est lentement, chroniquement, que se développe cette pigmentation.

Par contre, si les zones de la peau qui ont été le siège de la première atteinte des rayons chimiques sont immédiatement soustraites à leur action, la pigmentation n'au-

ra qu'une durée éphémère et disparaîtra en quelques jours.

Comment se produit cette pigmentation ? il serait assez difficile de le dire. On a cependant émis des hypothèses tendant à expliquer ce phénomène chez les nègres. Waitz (*Anthropologie der Naturvölker*, 1877) relate deux de ces hypothèses pour expliquer la coloration de la peau chez les nègres : « L'une, dit-il, se base sur l'oxydation incomplète causée par la chaleur, dont la conséquence serait un emmagasinement de carbone dans la peau : l'autre y verrait l'effet du régime végétarien, c'est-à-dire de la nature très carbonée qui fait le fond de l'alimentation des nègres. » Nous donnons ces explications pour ce qu'elles valent.

Finsen a toujours vu une dilatation des vaisseaux et des capillaires de la peau sous l'influence de la lumière. Il a même pu assister à la migration hors des vaisseaux sanguins de leucocytes et de quelques globules rouges. Ce phénomène serait-il de quelque importance dans la production du pigment ? Nous l'ignorons.

Quant au rôle joué par la pigmentation, c'est là une question non moins obscure, et qui, en tout cas, a partagé les opinions en deux camps bien distincts. Pour les uns, il s'agirait d'un processus de défense (Finsen, Giard) par lequel l'organisme se protégerait contre les rayons ultra-violets. Les autres, frappés du rôle que joue le pigment en d'autres circonstances, se refusent à lui voir jouer un rôle aussi négatif qui exclurait l'action bienfaisante des rayons chimiques. Ainsi pensent Bohn, Leredde et Pautrier. Bohn rejette l'explication darwinienne qui admet la fixation d'une variation due au ha-

sard par la sélection naturelle et se rattache à la théorie de Lamarck qui explique la création par un processus d'adaptation au milieu.

Entre ces deux opinions contraires, il y a place pour une hypothèse intermédiaire qui consisterait à voir dans le pigment un moyen mis à la disposition de notre organisme pour se protéger contre la trop grande intensité des rayons actiniques. Et, comme le dit Nogier, « le pigment n'est destiné qu'à ramener à une dose bienfaisante l'agent actif dont l'excès pourrait amener des perturbations dangereuses. Il y a là un processus d'adaptation plutôt qu'un processus de défense (77). »

2° Action de l'ultra-violet sur l'œil.

Notre œil ne perçoit rien en deçà du rouge, comme au delà du violet. La cécité de notre organe visuel pour toutes ces radiations de trop courte ou de trop grande longueur est vraiment providentielle. « Si notre œil, dit Nogier, était sensible à toutes les vibrations infra-rouges et ultra-violettes, de même qu'aux vibrations calorifiques et électriques et aux radiations X, la vie serait impossible pour l'homme à la surface du globe. Ce serait partout un ruissellement de lumière que n'arrêteraient pas les murs de nos habitations. Plus de nuits, mais de gigantesques aurores boréales causées par les ondulations électriques ou les variations de température, aurores à teintes multicolores et perpétuellement variables. Les câbles électriques sembleraient enveloppés, sur toute leur longueur, d'une gaine de feu. Le soleil prendrait un éclat insoute-

nable, puisque nous percevrions toutes les radiations actuellement invisibles qu'il émet (80). » En un mot, la vie serait intenable, du moins si nous étions organisés comme nous le sommes.

Heureusement pour nous, notre rétine se trouve bien protégée. Contre les radiations ultra-violettes, elle se trouve un écran dans le cristallin qui jouit de la singulière propriété de devenir fluorescent sous l'action de ces rayons, ainsi que l'a démontré De Chardonnet, il y a déjà quelques années. Or, comme nous le savons, le phénomène de la fluorescence a pour effet de transformer les radiations d'une longueur d'onde déterminée en radiations d'une longueur d'onde plus grande, c'est-à-dire que, dans le cas particulier, les radiations ultra-violettes sont transformées en rayons du spectre visible inoffensifs pour notre fond d'œil.

La conclusion s'impose : le segment postérieur de l'œil est protégé par le cristallin contre les atteintes de l'ultra-violet. Ce rôle protecteur du cristallin est nettement confirmé par les expériences de Birsch Hirschfeld sur l'œil aphake. Cet auteur a montré que l'ultra-violet produisait des lésions rétiniennes dans ce mode d'yeux. Les lésions consistent en une dissolution de la chromatine des cellules ganglionnaires, en vacuolisation du protoplasma, en altérations des noyaux des grains, en un mot, en des modifications analogues à celles produites par l'empoisonnement par la quinine, l'acide filicique ou l'alcool méthylique.

Par suite, dans l'œil pourvu de son cristallin, les lésions produites par l'ultra-violet ne sauraient donc porter que sur le segment antérieur. Birsch Hirschfeld, opé-

rant sur l'œil du lapin avec une faible intensité (lampe de 15 ampères), a montré que les rayons ultra-violets provoquaient une hyperhémie de ce segment. Avec une intensité plus forte, il obtenait de la conjonctivite, du chémosis, des troubles cornéens, de l'iritis et de la cyclite.

Des observations analogues ont été faites chez l'homme. Elles sont dues, en général, au coup de soleil électrique. Nous citerons celle du docteur Defontaine, du Creusot :

« Les accidents qui se produisent du côté des yeux, dit-il, se présentent à deux degrés : tantôt l'effet est léger, et on n'observe qu'une congestion faible avec larmoiement, sensation de sable fin, photophobie; le fond d'œil est normal. D'autres fois, les phénomènes congestifs sont plus intenses; la conjonctive est tuméfiée, et la douleur empêche les malades de dormir; dans ces cas, à ces accidents s'ajoutent des troubles rétinienés caractérisés par des symptômes subjectifs de scotomes fugaces et variés; les malades perçoivent des couleurs complémentaires. Le propre de ces accidents, en apparence formidable, est de disparaître rapidement (45). »

Comme on vient de le voir, la rétine ne semble pas toujours indemne. Mais il s'agit plutôt de phénomènes d'éblouissement, subjectifs, fugaces, érythroopsie principalement, qui semblent n'avoir rien de comparable, en fait de gravité, avec les lésions du segment antérieur. Cependant, Birsch Hirschfeld, avec des sources d'ultra-violet d'une grande intensité, a pu obtenir, sur l'œil du lapin, de véritables lésions rétinienés, comparables à celles obtenues dans l'œil aphake avec des sources de faible intensité.

D'après cet auteur, ces lésions rétiniennes seraient dues soit au développement d'oxygène par les rayons ultra-violet, soit à l'action des rayons *calorifiques* qui accompagnent toujours les rayons ultra-violet, mais qui ne sont pas ou peu absorbés par le cristallin. Ces rayons concentrés par cet organe provoqueraient une exsudation maculaire et choroïdienne.

Nous ne nous sommes occupé jusqu'à maintenant que des lésions expérimentales ou des lésions produites par le coup de soleil électrique, mais il est d'autres circonstances capables de produire des troubles analogues. C'est ainsi qu'il ne faudrait pas oublier les lésions superficielles et rarement profondes des parties extérieures de l'œil dues à l'éblouissement par la neige, à l'éblouissement par le soleil et par l'éclair.

Nous connaissons maintenant la protection qu'exerce, par sa fluorescence, le cristallin vis-à-vis du fond d'œil et à l'égard de l'ultra-violet. Il semble pourtant ne pas jouer impunément ce rôle. L'on a, en effet, accusé ces radiations de produire à la longue la cataracte des vieillards (Widmark). De même nature seraient la cataracte des verriers et celle consécutive à l'éclair. Du reste, il est un fait démontré, c'est qu'une forte irradiation de l'œil, au moyen d'une source d'ultra-violet, produit un léger trouble dans le cristallin.

Il résulte de tout ceci que les radiations ultra-violettes sont dangereuses pour notre organe de la vision, surtout quand on a affaire à une source d'ultra-violet un peu riche. Contre l'ultra-violet ordinaire qui nous vient du soleil, et dans les circonstances ordinaires de la vie, le cristallin suffit à nous protéger. Mais il n'en est plus de

même, si nous sommes exposés à l'irradiation d'une source lumineuse particulièrement riche en ultra-violet, telle que la lampe de Kromayer ou l'arc voltaïque, par exemple. Pour parer à ce danger, Schanz et Sttockausen ont recherché la transparence des milieux de l'œil et leur pouvoir d'absorption pour la lumière ultra-violette. De leurs observations il ressort que les lunettes protectrices, employées jusqu'à présent, ne suffisent point à arrêter les rayons ultra-violets. Ils ont préconisé un nouveau verre, dit « verre Euphos ». C'est un procédé de protection de plus ajouté au verre Fieuzal, plus anciennement connu. Rappelons, à ce propos, que les ingénieurs du Creusot, pour se protéger les yeux pendant les opérations de soudure à l'arc voltaïque, employaient empiriquement des verres jaunes et rouges associés.

CINQUIÈME PARTIE

LES APPLICATIONS DE L'ULTRA-VIOLET

La seule propriété des radiations ultra-violettes qui paraît jusqu'ici avoir reçu quelque application pratique sérieuse est leur propriété bactéricide. Dès que les hygiénistes ont connu ce merveilleux pouvoir, ils l'ont accaparé pour traquer nos invisibles ennemis dans les divers milieux qui sont en contact direct avec notre organisme.

Avant eux, cependant, les thérapeutes avaient utilisé le pouvoir microbicide des sources artificielles pour lutter contre les microorganismes qui ont choisi nos tissus comme lieu de résidence, et où ils se développent.

Quoi qu'il en soit, hygiénistes et thérapeutes sont limités dans leur lutte antimicrobienne par la perméabilité des milieux qui permet une action plus ou moins profonde des rayons ultra-violets. C'est cette particularité qui semble constituer le principal obstacle à l'extension des applications de l'ultra-violet.

Nous diviserons cette partie pratique de l'action de la lumière ultra-violette en deux grands chapitres. Dans le premier, nous étudierons les applications à la stérilisation, et, dans le second, nous aurons en vue les applications à la thérapeutique.

Il faut cependant avouer que cette partie de notre travail ne constituera pas la plus intéressante, car ces questions sont aujourd'hui connues d'un peu tout le monde, grâce aux très nombreuses publications qui ont été faites sur ce sujet. Aussi nous nous étendrons un peu moins longuement.

CHAPITRE PREMIER

Applications de l'ultra-violet à la stérilisation.

Nous envisagerons tout à tour les divers milieux physiques susceptibles d'être purifiés par l'action bactéricide des rayons ultra-violets.

ARTICLE I. — *Stérilisation des gaz.*

Le seul, parmi les gaz, qui nous intéresse au premier chef, est naturellement l'air. Mais que de difficultés ne rencontre-t-on pas pour atteindre ce but ? Une première condition qui limite notre champ d'action est encore, ici comme partout, la question de perméabilité. Si l'azote constitue un milieu relativement très transparent, l'oxygène, par contre, absorbe énergiquement les radiations ultra-violettes. A ce facteur propre, s'ajoute encore l'influence de l'épaisseur des couches gazeuses : une petite couche d'air de 0 m. 0091 absorbe, en effet, 800 unités

Angström, limitant le spectre ultra-violet à $\lambda = 1.850 \text{ \AA}$. Cette opacité énorme nous rend compte des difficultés que peuvent nous offrir les épaisses couches où nous nous déplaçons.

Mais l'absorption ultra-violette ne constitue pas la seule difficulté : une autre, non moins considérable, est réalisée par le continuel déplacement d'air que nous ne pouvons éviter, même dans la pièce la plus hermétiquement close. Soit, par exemple, une salle d'opération, cas où la stérilisation de l'air trouve son indication primordiale; nous pouvons, à un moment donné, détruire tous les germes pathogènes contenus dans les quelques mètres cubes d'air qu'elle contient, à l'aide de déplacements dans tous les sens de la lampe en quartz à vapeur de Hg. Mais cette pureté de l'air ne sera qu'essentiellement temporaire, car la première porte ouverte, le moindre appel d'air inévitable, viendront mélanger à cet air aseptique une certaine quantité d'air souillé.

Plus réalisable paraîtrait la désinfection du milieu atmosphérique d'une pièce occupée par un malade atteint d'affection contagieuse. Là, la stérilisation de l'air jointe évidemment aux autres procédés de désinfection, trouverait une indication de premier ordre, non seulement pendant l'évolution de la maladie, mais encore et surtout au moment de la désinfection terminale qui doit suivre la terminaison de toute maladie infectieuse. L'irradiation d'une telle pièce à l'aide d'une lampe à mercure proménée un certain temps dans les divers plans verticaux et horizontaux, nous paraîtrait un puissant adjuvant des procédés habituels.

Malgré tout, et de l'avis même du professeur J. Cour-

mont qui l'a essayée, la stérilisation de l'air reste encore une opération très difficile.

ARTICLE II. — *Stérilisation des liquides.*

La stérilisation des liquides par les rayons ultra-violets au moyen des lampes en quartz à vapeur de mercure est une découverte uniquement due à MM. J. Courmont et Th. Nogier, qui publièrent les résultats de leurs expériences faites sur de l'eau polluée, le 22 février 1909, à l'Académie des sciences. A la même séance, M. Dastre annonçait des travaux analogues effectués dans son laboratoire, mais sur la stérilisation du *lait*, et dont les résultats, du reste, ne furent publiés que le 1^{er} mars de la même année.

A cette séance encore, M. Billon-Daguerre demandait l'ouverture d'un pli cacheté, déposé le 7 janvier 1909, où il proposait la stérilisation du lait ou de cultures au moyen de la lampe à arc. Et il ajoutait les deux propositions suivantes : « L'on obtient de bons résultats en plaçant le lait dans des vases en verre violet de tonalité déterminée et en les exposant à la lumière blanche; 2° le maximum de rapidité et d'activité de l'action microbicide est atteint en décomposant la lumière blanche par un prisme. » Remarquons tout d'abord qu'il ne s'agit là en aucune façon d'eau et de lampe en quartz à vapeur de mercure. En second lieu, nous ne concevons guère l'action de la lumière blanche ou colorée filtrée par du verre, ce verre fût-il même coloré en violet.

Nous diviserons l'étude de la stérilisation des liquides en deux parties :

1° Stérilisation de l'eau :

2° Stérilisation des liquides colorés et contenant des substances colloïdes.

1° Stérilisation de l'eau.

Le principe de la stérilisation de l'eau a été démontré par MM. J. Courmont et Th. Nogier, par leurs expériences du tonneau en tôle galvanisée, expérience que nous connaissons déjà.

Conditions que doit remplir l'eau pour être parfaitement stérilisée.

L'eau qui doit être soumise à l'action des rayons ultra-violet dans le but de la stérilisation, doit être limpide et ne contenir aucune matière colloïde, ou seulement des traces de ces substances.

La limpidité de l'eau est une condition primordiale. Les substances solides en suspension dans ce liquide jouent, en effet, le rôle d'écrans minuscules, derrière lesquels les microorganismes se trouvent à l'abri de l'action nocive des rayons ultra-violet.

L'absence de matières colloïdes est moins importante, car généralement les eaux de boisson n'en contiennent pas. Néanmoins leur présence accidentelle constitue un réel obstacle dont nous verrons l'importance un peu plus loin.

Limite du pouvoir bactéricide effectif des rayons ultra-violet dans l'eau.

C'est encore à MM. J. Courmont et Th. Nogier que revient l'honneur d'avoir établi la limite de l'action bactéricide utilisable des rayons ultra-violet dans l'eau.

Pour cela, ces auteurs ont fait construire un tube mé-

fallique de 0 m. 55 de longueur, à tétines placées de distance en distance pour le puisage de l'eau. L'extrémité, munie d'une lame de quartz, était placée vis-à-vis d'une lampe de Kromayer. On remplissait ce tube d'eau plus ou moins contaminée. Des prises faites par les différentes tétines permettaient de juger de la puissance de pénétration des rayons.

Bien que tout le spectre ultra-violet du mercure puisse traverser une couche d'eau épaisse de 60 centimètres, ces auteurs ont néanmoins adopté comme distance utilisable pour l'action bactéricide des rayons ultra-violets dans ce liquide 0 m. 30. Ils ont, en effet, constaté qu'à une telle distance l'eau, même la plus contaminée, était toujours complètement stérilisée (34).

En conséquence, en immergeant la lampe dans l'eau, on peut doubler ce rayon d'action optima.

Appareils. — M. le professeur J. Courmont résume ainsi les conditions que doivent remplir les appareils destinés à la stérilisation des eaux : « 1° utiliser au maximum les rayons ultra-violets émis par la lampe en quartz à vapeur de mercure (stérilisation parfaite, économie du courant électrique); 2° faire cesser automatiquement (au moins pour les appareils ménagers ou de petite collectivité) l'écoulement de l'eau, dès que la ou les lampes ne fonctionnent plus, afin d'avoir toute sécurité; 3° stériliser l'eau sous pression (34).

Les appareils qui ont été jusqu'ici construits peuvent être divisés en deux grandes catégories :

1° Appareils ménagers destinés à l'usage des particuliers ou des petites collectivités ;

2° appareils urbains pour la stérilisation des grandes masses d'eau.

A. — APPAREILS MÉNAGERS

Appareil de Nogier. — Le premier appareil de ce genre construit et aussi le plus parfait, à notre avis, est celui du professeur agrégé Nogier. Il comprend essentiellement trois parties : la lampe ou brûleur, son enveloppe et le distributeur automatique d'eau.

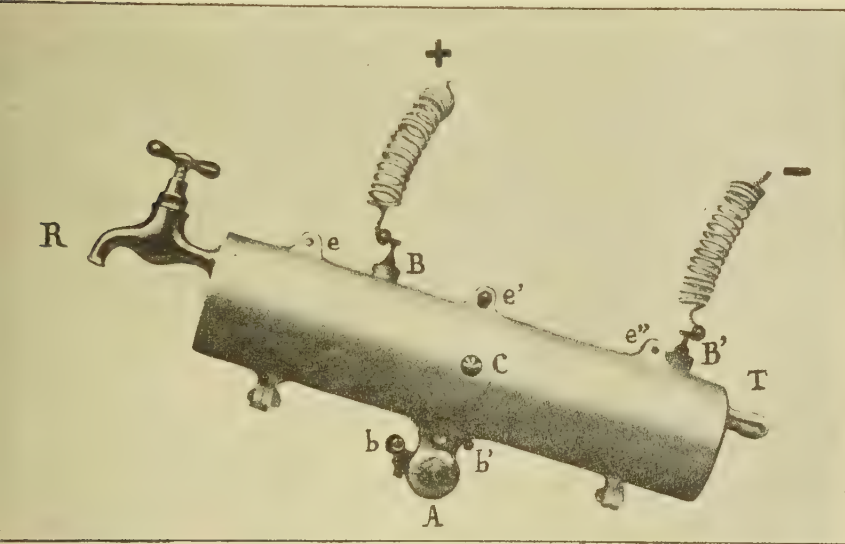


FIG. 4. — Stérilisateur à lumière ultra-violetle du Dr Th. Nogier.

A, axe de bascule de l'appareil; *bb'* arrêt limitant le mouvement de bascule; *BB'*, extrémités du brûleur, munies de leurs fils conducteurs; *C*, cabochon en cristal taillé, permettant de voir si la lampe est allumée; *ee''*, oreilles métalliques avec écrous pour le serrage des deux moitiés de l'enveloppe; *R*, robinet; *T*, tétine métallique servant à l'adduction de l'eau (*in "l'Hygiène"*).

1° Le brûleur, en quartz ou autre substance perméable aux rayons de petite longueur d'onde, a une forme rectiligne et est terminé par deux réservoirs ampullaires contenant du mercure. Le courant est amené dans ces

ampoules par deux électrodes métalliques spéciales. Le brûleur est suspendu au milieu de l'enveloppe par les tubes qui donnent passage aux électrodes. Un joint hermétique réunit le brûleur à l'enveloppe.

2° L'enveloppe est en aluminium. Elle est creusée de deux chambres de capacité inégale séparées par un diaphragme dont les bords sont taillés en biseau. La grande chambre sert au dégrossissage de l'eau, la petite au parachèvement de la stérilisation.

Pour permettre l'introduction du brûleur, l'enveloppe est constituée de deux parties symétriques pivotant autour de deux charnières. On peut les assembler en faisant passer des boulons dans des oreilles métalliques.

Tout l'appareil peut pivoter autour d'un axe, car l'allumage du brûleur se fait par basculement.

Un robinet sert à l'entrée de l'eau, un tube à sa sortie.

Une des moitiés de l'enveloppe porte en son milieu un orifice fermé par un cabochon en verre taillé, d'où s'échappe, quand l'appareil fonctionne, un éblouissant faisceau de lumière qui sert au contrôle de l'allumage.

3° Le robinet automatique s'oppose à tout écoulement d'eau non stérilisée. Cet appareil se compose d'une soupape à commande électrique placée sur le trajet de l'eau qui se rend à l'appareil.

Il comprend deux parties essentielles :

a) Le robinet proprement dit, formé d'un pointeau tronco-conique qui vient s'engager dans un logement, tronco-conique également qui est creusé dans une épaisse pièce de cuivre.

b) Son armature en fer doux. Cette armature repose

sur un piston en fer doux qu'un ressort énergique repousse vers le bas. La force de ressort est calculée de façon à équilibrer la pression de l'eau, si bien qu'au repos aucune goutte ne peut passer.

Au-dessus de l'armature, se trouve une pièce de fer doux qui peut devenir un aimant puissant sous l'influence de la bobine qui l'entoure.

Fonctionnement. — Après avoir relié le brûleur à une source de *courant continu* et avoir mis dans le circuit la bobine du robinet automatique, on tire sur une chaînette, on fait basculer l'appareil de gauche à droite et on allume le brûleur central. A l'allumage correspond le passage du courant électrique qui produit dans le robinet automatique l'aimentation qui ouvre pour ainsi dire le robinet. Avec l'extinction du brûleur correspond la fermeture du robinet par cessation de l'aimentation, de telle sorte que pas une seule goutte ne peut circuler dans l'appareil sans que le brûleur ne soit allumé.

Au point de vue stérilisation proprement dite, les choses se passent ainsi : l'eau arrive dans la grande chambre et commence à y subir l'action des rayons ultra-violets. Mais grâce à une sorte de diaphragme faisant corps avec l'enveloppe et dont la coupe est un biseau circulaire à pans inégalement inclinés, l'eau, avant de pénétrer dans la petite chambre, est obligée de venir tout au voisinage de la lampe en lécher la paroi immédiate. De plus, grâce à ce dispositif, l'eau, avant de pénétrer à travers l'orifice, subit déjà une véritable contraction, ce qui a pour but d'augmenter encore la durée du contact immédiat de l'eau avec les parois du brûleur (40).

Résultats. — MM. J. Courmont et l'auteur ont longuement expérimenté cet appareil, en y faisant passer de l'eau limpide, mais extrêmement souillée, plus chargée en microbes que ne le sera jamais eau destinée à l'alimentation. Ils ont employé à cet effet des cultures de coli-bacilles, de bacilles d'Eberth, des dilutions étendues de matières fécales (normales ou typhiques). Les microbes étaient comptés avant et après le passage de l'eau dans l'appareil. Le coli-bacille était recherché au moyen de la culture en milieu au neutralroth et par la méthode de Vincent.

Dans la plupart des expériences, le débit de l'appareil fut de 4 litres à la minute, mais les résultats ne variaient pas quand le débit était plus élevé.

L'eau, avant son passage dans l'appareil « était tellement polluée que, malgré nos dilutions, dit Nogier, nous sommes rarement arrivés à obtenir une numération exacte. Il y avait toujours *plusieurs millions de microbes au centimètre cube*; il y avait toujours *plus de 100.000 coli-bacilles au centimètre cube*.

« L'eau, à la sortie de l'appareil était stérile. La numération totale donnait en général un résultat négatif, parfois 1 ou 2 microbes (banals) au centimètre cube. Quant au coli-bacille il avait toujours disparu. Au lieu d'ensemencer des gouttes ou des centimètres cubes, nous ensemencions par fraction de 100 ou 150 centimètres cubes jusqu'au litre entier; les cultures en milieux Vincent restaient claires; il n'y avait pas un seul coli-bacille au litre. On peut donc dire qu'une eau contenant *plus de 100.000 coli-bacilles par centimètre cube, soit plus de 100.000.000 de coli-bacilles par litre, n'en contient plus*

un seul (un litre entierensemencé) après avoir traversé notre appareil (70). »

A Paris, le docteur Miquel a stérilisé intégralement l'eau de Paris qui renferme du coli-bacille; il a stérilisé également de l'eau renfermant du coli-bacille introduit artificiellement à l'état de pureté. Ses résultats ayant été plus que satisfaisants avec les microbes ordinaires de l'eau et le coli-bacille notamment, le docteur Miquel tenta une expérience plus difficile.

« Dans ce dernier groupe d'essais d'infection artificielle, dit-il, il fut substitué au bacille du côlon une espèce microbienne beaucoup plus résistante, à spores durables, voisine, sinon identique, du *bacillus mesentericus ruber*, dont les spores réfringentes sont susceptibles de résister à la température de l'ébullition de l'eau soutenue pendant plusieurs heures. »

Ses résultats furent les suivants : avec un débit de 81 litres à l'heure, la destruction microbienne est complète non seulement pour les 3.615.000 bactéries vulgaires au litre, mais encore pour les 85.033.000 bacilles (*mesentericus*) à spores très résistantes contenus dans un litre d'eau. Le docteur Miquel exprime de la sorte son admiration :

« Les résultats obtenus sont réellement remarquables. Cette expérience avait été entreprise avec la presque certitude que la stérilisation des spores du *bacillus mesentericus ruber* serait incomplète (76). »

Comme on le voit, les résultats montrent la haute valeur de l'appareil qui, du reste, répond exactement aux conditions énoncées par le professeur J. Courmont. En effet, dans l'appareil Nogier, la lampe est immergée dans

l'eau, de la sorte, tous les rayons émis dans tous les sens sont utilisés. De plus, la lampe ne s'échauffe pas et sa durée est augmentée. Enfin, les rayons ultra-violets n'ayant pas la moindre couche d'air à traverser, il n'y a aucune perte. En résumé, l'immersion du brûleur permet l'utilisation intégrale des radiations.

Quant à la cessation de l'écoulement de l'eau, si la lampe venait à s'éteindre, Nogier, grâce à son robinet automatique, a très heureusement résolu le problème.

Enfin, la troisième condition (stérilisation de l'eau sous pression) a été aussi très ingénieusement réalisée par l'orifice diaphragmatique qui produit une contraction de la veine fluide sur une certaine distance.

L'appareil du docteur Nogier ne fonctionne qu'avec du *courant continu* (50 à 110 volts, 5 à 10 ampères). Par suite, un appareil transformateur est naturellement indispensable si l'on s'adresse au courant alternatif.

Parmi les divers appareils fabriqués par la Compagnie Westinghouse Cooper-Hewitt, en vue de la stérilisation par l'ultra-violet, il existe aussi un modèle du type ménager. Cet appareil fonctionne avec une lampe à 110 volts et 3 ampères; son débit est de 400 à 600 litres. L'eau y circule par un chemin compliqué au-dessous de la lampe qui est contenue dans le couvercle et ne peut pas être vue directement (60). La lampe n'est pas immergée et, par suite, l'action des radiations est imparfaitement utilisée.

B. APPAREILS URBAINS.

La question de l'épuration des grandes masses d'eau destinées à l'alimentation des grosses agglomérations a été l'objet de nombreuses recherches ces derniers temps.

Au mois d'avril dernier, M. Gabriel Vallet, de Mont-

pellier, posait les conditions que l'on doit remplir pour obtenir une stérilisation convenable.

« 1° Donner une limpidité parfaite à l'eau.

« 2° Amener l'eau dans l'appareil de telle façon que les masses nouvelles arrivent bien progressivement au contact du brûleur.

« 3° Proportionner la capacité du récipient au débit, de manière que chaque molécule de l'eau reste illuminée pendant au moins une minute, dans la limite de la partie utile des rayons.

« 4° Recueillir l'eau, pour la conduire au dehors, dans la couche qui entoure immédiatement le brûleur. »

Pour ces expériences, M. Vallet se servait d'une lampe de 110 à double paroi de quartz, dont le brûleur mesurait 6 centimètres de longueur. Cette lampe était immergée dans un récipient clos, rempli et traversé par l'eau sous pression de la canalisation de Montpellier, contenant 1.000 coli-bacilles par litre.

Avec ce dispositif, il a pu stériliser cette eau relativement très polluée, sous un débit de 10 mètres cubes à l'heure, ce qui est vraiment merveilleux si l'on songe qu'une seule lampe produit cet effet (100).

De leur côté et presque en même temps, MM. Victor Henri, André Helbronner et Max de Recklinghausen construisaient aussi un appareil pour la stérilisation des grandes masses d'eau. Ce premier appareil n'est jamais sorti des laboratoires de la Sorbonne, et a été presque immédiatement remplacé par un nouvel appareil qui a été récemment expérimenté à Marseille.

Ce dernier stérilisateur de M. V. Henri, Helbronner et M. de Recklinghausen est ainsi construit : « La lampe est

placée dans une boîte rectangulaire dont trois faces parallèles au tube lumineux sont formées par des plaques de quartz. Cette boîte, contenant la lampe, est plongée dans un appareil de forme demi-circulaire, à l'intérieur duquel se trouvent cinq chicanes. L'eau suit un chemin compliqué et subit ainsi l'action des rayons ultra-violets. »

A l'appareil stérilisateur proprement dit est adjointe une soupape de sûreté, de sorte que, si la lampe vient à s'éteindre, l'eau va directement à l'égout au lieu de passer par l'appareil.

Avant son passage dans le stérilisateur, l'eau contient de 30 à 300 germes au centimètre cube et de 50 à 1.000 coli par litre. Après l'appareil, elle ne contient plus qu'une moyenne de 1 germe par centimètre cube et jamais de coli (61-62).

Dans la construction de cet appareil, qui semble donner des résultats satisfaisants, les auteurs ont voulu éviter l'inconvénient de l'immersion de la lampe, si tant est que cela puisse être nommé ainsi. En effet, si l'on plonge la lampe à mercure dans l'eau, on est obligé de doubler l'ampérage pour obtenir un rendement analogue à celui que produit le brûleur dans l'air. Malheureusement, ces auteurs sont tombés dans un autre inconvénient bien plus grave. Car, lorsque la lampe à mercure brûle dans l'air, elle subit un échauffement considérable qui modifie la transparence du quartz et le rend imperméable aux rayons de courte longueur d'onde, alors que sa luminosité reste sensiblement la même. C'est là un très grave désavantage : la clarté produite par la lampe restant invariable, il est difficile de s'apercevoir de l'opacité du quartz aux rayons bactéricides,

Nogier enfin a aussi construit un appareil urbain dont il donne un aperçu succinct dans la *Technique moderne* du 6 juin 1910. « L'appareil urbain, dit-il, est la déduction directe de nos premières expériences et de notre première communication du 22 février 1909, où le principe se trouve déjà indiqué.

« Un tonneau contenant 115 litres d'eau, disions-nous, peut être entièrement stérilisé en une minute, malgré une souillure énorme de l'eau. Supposons de l'eau ayant la souillure normale des eaux destinées à l'alimentation, circulant dans un tuyau cylindrique contenant vingt lampes en quartz convenablement espacées; cette eau sort de l'appareil rigoureusement stérilisée. Or, les lampes que je fais construire fonctionnent sous 30 volts et 6 ampères et consomment par conséquent 180 watts à l'heure. Vingt lampes consommeront donc 3.600 watts, ce qui représente, à 0 fr. 10 le kilowatt (prix industriel), une dépense de 0 fr. 36 à l'heure.

« Quel est le débit horaire d'un semblable appareil ? Le diamètre du tuyau étant de 0 m. 60 et la vitesse de l'eau de 1 mètre à la seconde, c'est un débit de 0 mc. 282 à la seconde, de $0,282 \times 60 = 16$ mc. 920 à la minute et de $16,920 \times 60 = 1,015$ mc. 200 à l'heure.

« En résumé, la dépense de courant électrique dans un appareil urbain approprié est de moins de 40 centimes pour *plus d'un million de litres à l'heure* (1). »

(1) Nous laissons volontairement de côté les travaux de MM. Urbain, Scalet et Feige d'une part, et de MM. Tassilly et Cambier, qui employaient des sources d'ultra-violet autres que la lampe en quartz à vapeur de mercure. Nous négligerons aussi ceux de M. Billon-Daguerre. L'importance de tous ces travaux est plutôt théorique que pratique.

Modification des substances chimiques contenues dans l'eau.

1° *L'eau n'est pas échauffée.* — L'élévation de température est nulle, si on opère sur de grandes quantités. Avec l'appareil de Nogier même, marchant à débit ralenti, elle ne dépasse pas quelques dixièmes de degré.

2° En ce qui concerne la *production d'ozone et d'eau oxygénée*, nous avons déjà vu ce qu'il fallait en penser.

3° *Matières organiques diverses.* — Sur douze expériences faites par MM. J. Courmont, Nogier et Rochaix, neuf fois seulement les expériences constatées ont été infinitésimales. Une fois, la réduction a été de 1 gr. 64 d'oxygène consommé par litre (avant) à 1 gr. 44 (après). Deux fois les expériences ont été plus marquées encore.

D'une manière générale l'on peut dire que la matière organique n'est jamais réduite, ou presque jamais.

4° *Ammoniaque.* — Pas de modifications. L'écart le plus considérable, d'après les auteurs précédents, entre le dosage avant et après, a été de 0 gr. 124 à 0 gr. 122, c'est-à-dire négligeable.

5° *Nitrites et nitrates.* — Il n'a pas été trouvé de modifications sensibles pour ces deux sels par les mêmes auteurs. En ce qui concerne les nitrates, au moins, M. Maurice Lombard n'admet point cette manière de voir.

Comme nous l'avons déjà vu, cet auteur a montré, en effet, que de l'eau distillée additionnée de 20 milligrammes d'azotate de potasse au litre donne, au bout d'une irradiation variant de cinq à dix secondes, des traces de nitrites (moins de 0 gr. 1 au litre), mais parfaitement nettes au réactif à l'acide sulfanilique et à la naphtylamine.

La divergence des opinions peut trouver son explication dans la teneur différente des eaux examinées en nitrate.

6° *Innocuité de l'eau stérilisée aux rayons ultra-violets.* — Nous avons vu déjà que l'eau irradiée avec la lampe de Kromayer ne manifestait aucune influence néfaste pour les végétaux. Il en est de même pour l'eau stérilisée à l'égard des animaux.

MM. Courmont et Nogier seuls, à notre connaissance, ont, en effet, montré que des chiens, des lapins, des cobayes ne recevant comme boisson qu'exclusivement de l'eau stérilisée à la lampe en quartz à vapeur de mercure, ne manifestaient, au bout d'un mois de ce régime, aucun trouble de leur santé (40).

7° *Action sur les substances fluorescentes.* — Dienert a fait une remarque intéressante. Il existe, dans les eaux superficielles des substances fluorescentes d'origine organique. La stérilisation de l'eau par les rayons ultra-violets (comme celle par l'ozone d'ailleurs) fait diminuer notablement la quantité de ces substances. « Il y a là, fait remarquer le professeur J. Courmont, un procédé facile de surveillance et de contrôle des installations de stérilisation (34). »

2° Stérilisation des liquides contenant des matières colloïdes et des matières colorantes.

MM. J. Courmont et Th. Nogier ont été des premiers à signaler le rôle absorbant joué par les substances colloïdes qui les firent échouer une première fois dans l'inactivation de la toxine tétanique. Cette absorption a encore été mise en lumière par Nogier. Comme nous l'avons

déjà vu : « La qualité des rayons ultra-violet, dit-il, est variable suivant la coloration et la richesse en colloïdes des diverses substances étudiées. Pour les unes (vin rouge), la coloration l'emporte sur la richesse en colloïdes; pour les autres (bouillons peptonés), la richesse en colloïdes l'emporte sur la coloration (82). » Nogier fait ainsi intervenir un nouveau facteur : la coloration.

Ces deux facteurs rendent très difficile la stérilisation de tels liquides. Pour vaincre cette opacité, l'on est obligé d'opérer sur des couches de liquide très minces : l'opération, dès lors, devient difficile, longue et coûteuse. Néanmoins quelques auteurs ont réussi sur certaines de ces substances.

A. — APPLICATIONS DE LA STÉRILISATION ULTRA-VIOLETTE AUX LIQUIDES DESTINÉS A L'ALIMENTATION.

1° *Le lait.* — La stérilisation du lait au moyen des rayons ultra-violet a été réalisée par MM. V. Henri et Stodel, qui ont opéré sur des couches très minces. Ils ont expérimenté sur du lait largement infecté avec du bouillon de culture contenant des coli. des bacilles de la phléole, etc. (l'addition ayant été faite à du lait préalablement stérilisé), et sur du lait du commerce. Les résultats auraient pleinement répondu à leurs efforts (58).

La Société Westinghouse Cooper-Hewitt a construit un appareil à stérilisation du lait par les rayons ultra-violet. C'est un petit cylindre horizontal de 8 centimètres de diamètre et de 8 centimètres de longueur, tournant à la vitesse de 300 tours à la minute et qui entraîne par capillarité une couche de lait de 1 millimètre d'épaisseur; le débit de l'appareil est de 50 litres à l'heure (60).

Quoi qu'il en soit, la stérilisation du lait reste une opération hérissée de difficultés et *pleine d'incertitude*. Dans le lait, en effet, les difficultés sont réunies comme à plaisir. Ce n'est pas un liquide clair d'abord, et pas même susceptible d'être rendu clair. Ensuite, en plus des matières colloïdes qu'il renferme, le lait constitue une émulsion d'une infinité de globules graisseux qui sont complètement opaques aux rayons ultra-violets et même à la lumière ordinaire. Derrière ces minuscules écrans, le microbe résiste à toute tentative de destruction. Enfin, le lait irradié à la lampe de quartz à vapeur de mercure prend une odeur fort désagréable que nous avons déjà signalée.

2° *Le vin*. — Il y a lieu de distinguer le vin rouge et le vin blanc. Comme ici la grosse difficulté est constituée par la couleur, ainsi que l'a démontré Nogier, les vins rouges offrent des difficultés bien plus grandes que les vins blancs.

MM. V. Henri et Joseph Schnitzler, qui ont expérimenté l'action des rayons ultra-violets sur ces liquides, ont abouti aux conclusions suivantes :

« 1° Une exposition de trente minutes arrête complètement la fermentation acétique.

« 2° Une exposition d'une durée moindre produit un ralentissement de la fermentation.

« 3° L'aspect du vin après exposition de trente minutes est le même que celui que l'on obtient par l'addition de quelques gouttes d'eau oxygénée: au bout de quelques jours, il se produit un léger précipité foncé, le vin est un peu décoloré et la teinte un peu changée.

« 4° L'action observée n'est pas due à la production d'ozone au voisinage de la lampe :

« 5° La présence de l'air est nécessaire pour l'action des rayons ultra-violets.

« 6° Ce sont les rayons extrêmes au-dessous de 3.021 qui agissent. »

Dans leurs expériences, le liquide était disposé sous une couche de 1 à 4 centimètres d'épaisseur au fond d'un cristalliseur animé d'un mouvement de rotation à raison de trente tours par minutes (59).

3° *Le cidre.* — L'arrêt de la fermentation dans ce liquide a été obtenue par MM. Maurain et Warcollier, avec une durée d'exposition supérieure à 2, 3 minutes pour des couches de cidre pur d'environ 1/4 de millimètre d'épaisseur, et pour des couches de cidre dilué au 1/20 d'environ 1 millimètre (75), avec une durée d'exposition supérieure à une ou deux minutes (75).

D'après ces mêmes auteurs, le cidre serait plus difficile à stériliser que le vin blanc.

4° *La bière.* — En ce qui concerne ce liquide, MM. J. Courmont et Nogier ont renoncé à toute tentative de stérilisation. La couche sérialisable est, en effet, tellement mince, que le prix de revient serait considérable.

En résumé, la stérilisation du lait, des vins, bières, cidres et autres produits analogues, en raison même de leur opacité aux rayons bactéricides, ne semble pas devoir passer dans le domaine de la pratique courante.

Cela n'a pas, toutefois, empêché de construire des appareils pour réaliser cette opération en couche mince,

Pour augmenter le débit, on a augmenté la surface stérilisable. Deux procédés ont été préconisés : le premier consiste à faire couler le liquide sur une table en celluloïd et à irradier ce liquide par-dessus et par-dessous la table. L'irradiation par-dessous n'est qu'un véritable trompe-l'œil, le celluloïd n'étant pas perméable à l'ultra-violet bactéricide. Le second procédé est réalisé par l'appareil à stériliser le lait de la Société Westinghouse Cooper-Hewitt, que nous connaissons : il consiste essentiellement à faire baigner légèrement dans le liquide des cylindres auxquels on communique un mouvement lent de rotation. Le liquide adhère au cylindre en couche mince et est recueilli après avoir été irradié. Leur débit est faible.

B. APPLICATIONS AUX BOUILLONS, CULTURES ET SÉRUMS

Les mêmes difficultés dues à l'opacité de ces milieux contenant des matières colloïdes se présentent pour la stérilisation des bouillons peptonés, qu'ils soientensemencés ou non, pour l'inactivation des toxines qu'ils contiennent, et enfin pour la destruction ou l'atténuation des principes actifs des sérums normaux ou préparés.

3° Applications industrielles.

La stérilisation du lait, du vin, de la bière, des cidres et poirés étant encore plutôt du domaine de la théorie que de la pratique, nous la laisserons volontairement de côté. Nous nous arrêterons, par contre, plus longuement sur les divers usages auxquels peut servir la stérilisation de l'eau par l'ultra-violet réalisée par les divers appareils

que nous connaissons, et particulièrement par ceux de Nogier.

Son indication primordiale est naturellement l'eau destinée à l'alimentation. Cette seule indication suffirait, du reste, à en légitimer la raison d'être. Mais ce n'est pas tout, et la stérilisation de l'eau par la lumière ultra-violette peut encore trouver sa place :

1° Dans *les salles d'opérations*, pour l'usage des chirurgiens. Il est même étonnant que ce mode de stérilisation n'ait pas encore remplacé tout le matériel encombrant, incommode et coûteux par son entretien et sa marche ainsi que par le personnel qu'il occupe, de la stérilisation de l'eau par la chaleur.

2° En *pharmacie* également un appareil stérilisateur ménager a sa place tout indiquée. Au pharmacien, il évite tous les tracas d'une longue stérilisation par la chaleur, et au client il offre une sécurité plus grande, car, pour peu qu'il soit un peu pressé et qu'il n'ait pas de l'eau stérilisée sous la main, le pharmacien peu consciencieux — et il y en a — remplacera souvent l'eau stérilisée formulée par de la véritable « aqua fontis ».

Indépendamment de l'eau qui entre dans les médicaments, l'eau facilement stérilisée par un appareil ménager peut être avantageusement utilisée au rinçage des bouteilles ou flacons destinés à recevoir les médicaments.

Toutefois, l'utilisation de l'action bactéricide de l'ultra-violet pourrait encore être utilisée directement à la stérilisation de certains *liquides médicamenteux*. Cette question a été assez bien étudiée par M. Lesure, qui a expérimenté en même temps l'action de l'ultra-violet au point de vue altération, sur quelques corps médicamenteux.

Comme nous l'avons vu, les quelques altérations insignifiantes que pourraient produire ces radiations demandent une durée d'action bien supérieure à celle que nécessiterait leur stérilisation, du moins en ce qui concerne les liquides ayant une perméabilité ultra-violette analogue à celle de l'eau. Voici, du reste, comment s'exprime M. Lesure sur la possibilité de la stérilisation des liquides pharmaceutiques :

« L'action des rayons ultra-violets suffisamment prolongée peut-elle servir efficacement à une stérilisation intégrale (aussi rigoureuse que celle que l'on obtient à l'autoclave) des liquides pharmaceutiques, et notamment des solutés injectables ?

« Il est permis de le supposer, tout au moins pour une durée d'irradiation suffisante, et pour les liquides dont la perméabilité aux rayons est analogue à celle de l'eau.

« Le grand inconvénient du procédé à l'heure actuelle consiste dans l'impossibilité de stériliser les solutions en vases clos (par exemple, en ampoules scellées)...

« ...On voit, d'après ce qui précède, que l'action bactéricide des rayons ultra-violets qui se produit sans élévation sensible de température, serait susceptible de rendre d'utiles services pour la stérilisation des substances altérables par la chaleur (glycérophosphates) ou très oxydables, surtout à chaud (morphine) ou hydrolysables à l'autoclave sous l'influence de l'alcalinité des récipients (cocaïne, atropine, etc.), ou précipitables par la chaux ou le plomb cédés par le verre (sérums artificiels). Il en serait de même pour la stérilisation des eaux minérales, puisque les rayons respectent les carbonates et les bicarbonates.

« Pour les autres substances facilement stérilisables à

l'autoclave, le procédé présenterait moins d'intérêt; toutefois, il aurait encore l'avantage d'une rapidité d'exécution beaucoup plus grande, si l'on s'en rapporte aux résultats déjà obtenus avec l'eau (70). »

3° Comme le faisait entrevoir M. Lesure, le procédé de la stérilisation de l'eau par la lumière ultra-violette trouve encore son indication dans l'industrie des *eaux minérales*.

4° Enfin, une dernière indication se trouve dans l'*industrie beurrière*, où, comme l'ont montré MM. Dornic et Daire, il y a grand avantage à n'employer que de l'eau stérilisée. Mais ici, l'indication d'un tel liquide ne devient réellement pratique qu'à la condition de l'obtenir rapidement et à peu de frais, Comme c'est le cas avec l'appareil ménager de Nogier.

Les auteurs légitiment ainsi l'emploi de l'eau stérilisée : « La rancissure rapide et prématuré du beurre est due, disent-ils, à des microbes (*B. fluorescens*, liquefaciens, *oïdium lactis*, *micrococcus acidii lactici* Kruger, *B. microbutyricus* liquefaciens, *B. prodigiosus*, *Cladosporium butyrii*, *B. aerogenes*, *Streptothrix alba*, *Streptothrix chromogena*, *Penicillium glaucum*), ainsi qu'il résulte des travaux classiques de Sommaruga et de Jensen.

« L'origine de ces microbes est plus rarement le lait, mais bien plutôt l'eau qui sert au lavage du beurre et qui peut être contaminée par des infiltrations provenant de purins, de porcheries, de fromageries ou de caséineries. »

Par ce moyen, ces mêmes auteurs ont réussi à augmenter de trois semaines en moyenne la durée de conservabilité du beurre (46).

Comme on le voit par ces multiples applications industrielles, la portée de la découverte de MM. J. Courmont et Th. Nogier est immense. Elle surpasse, par la sûreté de ses résultats, par la facilité de les obtenir rapidement et à peu de frais tous les procédés plus ou moins incertains qui avaient été préconisés jusqu'à ce jour pour obtenir l'épuration de l'eau et dont nous connaissons aujourd'hui la valeur exacte.

CHAPITRE II

Applications à la thérapeutique de l'ultra-violet.

Il y a lieu de distinguer ici encore l'ultra-violet biotique ou ordinaire de l'ultra-violet moyen et extrême, bactéricides ou abiotiques. En effet, ces deux catégories bien nettes de radiations chimiques sont employées par les photothérapeutes pour produire des effets différents.

1° Action de l'ultra-violet biotique.

L'ultra-violet biotique ou ultra-violet ordinaire, compris entre 4.00 Å. et 3.000 Å., trouve son utilisation dans ce que l'on appelle les bains de lumière. Les vrais bains de lumière sont ceux où la source de lumière est l'arc électrique entouré d'un globe de verre ou les lampes de Cooper-Hewitt. Ces appareils qui, comme nous le savons, sont des sources très riches d'ultra-violet, ne laissent filtrer que l'ultra-violet ordinaire grâce à leur enveloppe de verre. Mais, surtout en ce qui concerne la lampe en verre à vapeur de mercure, cet ultra-violet ordinaire est encore relativement riche, puisque le spectre du mercure possède entre 4.000 Å. et 3.000 Å. 13 raies très brillantes.

Une autre source non moins importante d'ultra-violet

biotique est constituée par le soleil. Malheureusement, dans le bain de soleil il est plus difficile de discerner ce qui revient exactement aux diverses radiations. Du reste, les opinions divergent énormément et il semble que chaque thérapeute ait sa radiation préférée. Certains même ont poussé leur partialité pour ses radiations calorifiques jusqu'à confondre bains de soleil et bains de chaleur. Ces auteurs donnent, en effet, comme exemple de bains de soleil le phénomène de l'*arénation*. Or, que je sache, il ne s'agit là nullement d'énergie lumineuse, mais de chaleur obscure. C'est pourquoi nous ne nous occuperons rien que des bains de lumière froide proprement dite.

M. le professeur agrégé Nogier préconise la lampe de Cooper-Hewitt. C'est, en effet, une source actinique plus riche que l'arc électrique, et de plus l'on n'a pas avec elle à redouter les atteintes que peut porter ce dernier à certaines peaux un peu sensibles. Un autre gros avantage de cette lampe, c'est son mécanisme simple et sa faible dépense.

M. Nogier traite par cette lumière les ralentis de la nutrition, les obèses, les gouteux, Cela se conçoit très bien, les rayons ultra-violets biotiques ayant pour effet d'activer les oxydations. De même l'anémie et la chlorose seraient favorablement influencées par un tel traitement, associé, bien entendu, à une thérapeutique générale. Cet auteur aurait ainsi vu guérir des cas d'aménorrhée ancienne et rebelle. Les douleurs goutteuses et rhumatismales ne tarderaient pas à se dissiper sous cette heureuse influence, même si elles sont profondes. Enfin, on en obtiendrait d'excellents résultats dans les douleurs consécutives à de vieilles salpingites (79).

D'autres auteurs tels que Widmer auraient obtenu par cette thérapeutique l'amélioration des troubles de la croissance chez les nouveau-nés et notamment de la dyspepsie, de l'amaigrissement, eczéma et furonculose (103).

A Copenhague, Jacobæus a institué un traitement de l'angine de poitrine par les bains lumineux de Finsen (63).

A Leysin, Rollier utilise comme traitement local de la tuberculose chirurgicale l'action microbicide, oxydante, analgésiante et sclérotique de la radiation solaire (91).

2° Action de l'ultra-violet abiotique.

La photothérapie locale se sert surtout du pouvoir bactéricide et nécrosant des radiations ultra-violettes de courte longueur d'onde (au-dessous de 3.000 Å.).

Les instruments divers employés sont les appareils à arc (Finsen, Lortet-Genoud, et les lampes en quartz à vapeur de mercure, types Nagelschmidt ou Kromayer).

Suivant leur mode d'emploi, ces appareils sont susceptibles d'exercer deux actions différentes sur le tégument :

a) *Une action superficielle*, qui s'obtient par irradiation à distance (12 centimètres environ);

b) *Une action profonde*, que l'on obtient par l'irradiation avec *compression* directe des tissus, compression qui s'effectue à l'aide de dispositifs divers, la fenêtre en quartz, par exemple, dans la lampe de Kromayer.

La compression a pour but d'amener dans la partie à traiter l'évacuation du sang qui, par sa couleur et par les colloïdes qu'il contient, oppose un obstacle considérable à la pénétration des rayons ultra-violet.

L'action superficielle est indiquée lorsqu'il s'agit d'in-

fluencer un processus localisé à la surface du derme, tel que l'alopecie, l'eczéma, le psoriasis.

Les effets de la lumière ne s'étendent alors que sur l'épiderme ou tout au plus sur la couche supérieure du tissu conjonctif. Ils ne se manifestent qu'après une certaine période de latence qui varie de dix à quinze heures.

L'action profonde, à compression, trouve son indication dans les cas où il s'agit d'exercer sur des processus pathologiques situés relativement profondément ou ayant une extension profonde. Dans cette catégorie de cas, l'on peut ranger les naevi, les épithéliomas, les lupus tuberculeux, le lichen, l'herpès circiné, l'acné rosacée.

L'acné simple est plutôt justiciable de l'irradiation à distance.

Dans l'irradiation au contact et à compression, la manifestation des signes réactionels exige une période d'incubation plus longue : quarante-huit heures à trois jours.

Enfin, à propos de la thérapie des maladies des yeux par l'ultra-violet, Rudolf Steiner s'exprime ainsi :

Les rayons à grande longueur d'onde ne sont pas absorbés par les milieux superficiels et provoquent des lésions profondes. Aussi devra-t-on se limiter en thérapeutique aux rayons de faible longueur d'onde. Il fallait chercher une source lumineuse qui, pas suffisamment puissante pour léser les éléments rétiens, serait cependant assez intense pour permettre le traitement des affections du segment antérieur de l'œil. Ce qui semble le meilleur dans ce but est la lampe à électrodes métalliques (zinc et cadmium). Hessel, qui a essayé cette lampe dans l'ulcère serpiginieux de la cornée, en a obtenu de bons résultats. La cicatrisation étant en particulier bien meilleure qu'avec les autres moyens de traitement (92).

D'autres auteurs ont employé les rayons ultra-violets pour des affections différentes (kératite eczémateuse, conjonctivite, blépharite, orgelet, chalazion, taches cornéennes).

Nous nous bornerons à ces quelques indications générales, car ce serait sortir de notre sujet que d'entrer dans le détail.

CONCLUSIONS

I. — Les rayons ultra-violetes sont produits par des ondulations rapides de l'énergie lumineuse, mais de courte longueur d'onde (de 3.800 Å. à 1.030 Å.). Ils possèdent au plus haut degré la propriété chimique; ils déchargent les corps électrisés négativement et produisent avec intensité les phénomènes de luminescence.

II. — La meilleure source d'ultra-violet, comme aussi la plus pratique, est la lampe en quartz à vapeur de mercure, qui donne des radiations jusqu'à 2.225 Å.

III. — Tous les milieux ne sont pas également transparents aux rayons ultra-violetes : le verre limite le spectre à 3.000 Å.; le quartz à 1.500 Å. ; la fluorine à 1.250 Å. Parmi les liquides, l'eau est le milieu le plus perméable : sous 60 centimètres d'épaisseur, elle laisse passer le spectre ultra-violet tout entier. Les couleurs et les matières colloïdes sont les principaux facteurs de l'opacité ultra-violette des liquides.

IV. — Vis-à-vis des divers composés chimiques, les rayons ultra-violetes se manifestent comme de puissants agents de synthèse et de décomposition. Les réactions qu'ils provoquent rappellent les processus bio-chimiques, et notamment ceux des végétaux. Ce sont des réactions s'opérant à froid et avec rapidité. Ils sont, en outre, des agents énergiques de condensation ou polymérisation.

V. — A l'égard des végétaux, toutes les radiations ne se comportent pas de la même façon. Les radiations de courte longueur d'onde (au-dessous de 3.000 Å.) sont mortelles pour la cellule végétale. Cette action est surtout évidente pour les bactéries, qui sont tuées en quelques secondes. Pour les plantes vertes, cette action destructive se manifeste après une période de latence d'environ quarante-huit heures : les cellules végétales sont ici, en effet, mieux protégées, d'une part, par leur pigment et, d'autre part, par leurs connexions avec les cellules sous-jacentes qui sont susceptibles de pourvoir à la nutrition des couches profondes du protoplasma encore non atteint par l'irradiation.

Les radiations au-dessus de 3.000 Å., loin d'être nuisibles aux végétaux, leur sont, au contraire, de la première utilité. Elles représentent l'énergie dont a besoin le pigment chlorophyllien pour opérer la synthèse des principes végétaux.

VI. — Les rayons ultra-violets de courte longueur d'onde agissent sur les animaux et en particulier sur les téguments de l'homme à peu près d'une façon identique à celle dont ils influencent les êtres précédents. Les animaux élémentaires, en milieu convenable, sont tués sur-le-champ, au lieu que chez l'homme, les lésions érythémateuses provoquées par ces radiations au niveau du tégument et du segment antérieur de l'œil demandent, avant d'apparaître, une période d'incubation variable avec la profondeur de l'action ultra-violette.

VII. — Grâce aux remarquables travaux de M. J. Courmont et de M. Nogier, le pouvoir bactéricide des rayons ultra-violets n'est plus aujourd'hui une simple

constatation théorique, il est entré, avec l'appareil construit par l'un de ces auteurs, dans le domaine de la pratique courante.

La stérilisation de l'eau par l'action directe des rayons ultra-violets due aux recherches de MM. J. Courmont et Th. Nogier, constitue certainement, parmi tous les moyens préconisés jusqu'à ce jour, le seul procédé idéal. L'eau sortant de l'appareil Nogier est, en effet, chirurgicalement stérilisée, les germes, même les plus tenaces, sont détruits; la stérilisation revient à peu de frais, l'appareil dépensant une faible quantité d'énergie électrique, assurant de lui-même son contrôle, et, enfin, sa durée étant théoriquement indéfinie.

L'hygiène a donc fait là une grande conquête. Malheureusement, là semblent, au moins pour l'instant, devoir se borner toutes ses espérances, car la stérilisation des autres liquides destinés à l'alimentation devient à peu près impossible du fait même de leur opacité à l'ultra-violet bactéricide.

VIII. — Enfin, la thérapeutique utilise dans de larges mesures l'action nécrosante des radiations à courte longueur d'onde pour détruire les tissus néoformés ou désorganisés par les microorganismes.

VU :

Le Président de la Thèse,

J. COURMONT.

VU :

Le Doyen,

P. HUGOUNENQ.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :

Lyon, le 10 décembre 1940.

Le Recteur, Président du Conseil de l'Université,

P. JOUBIN.

BIBLIOGRAPHIE

ARLOING.

- 1 a) Influence du soleil sur la végétabilité des spores du bacillus anthracis. (S. M. (1), 26 août 1885.)
- 2 b) Influence du soleil sur la végétation, la végétabilité et la virulence des cultures du bacillus anthracis. (S. M., 9 septembre 1885.)

3 AUBEL (Ed.-Van).

Sur la production d'ozone sous l'influence de la lumière ultraviolette. (C. R. A. S. (2), 29 novembre 1909.)

BARONI (V.) et JONESCO MIHAESTI.

- 4 a) Sur la destruction par les rayons ultra-violets des principes actifs des sérums normaux et préparés. (C. R. S. B. (3), 5 mars 1910.)
- 5 b) Sur la destruction par les rayons ultra-violets de la propriété « antisensibilisine » du sérum de cheval (Contribution à l'étude de l'anaphylaxie). (C. R. S. B., 22 octobre 1910.)

BÉCLARD.

- 6 a) Influence de la lumière sur les animaux. (C. R. A. S., 1^{er} mars 1858.)
- 7 b) Influence de la lumière et des divers rayons colorés du spectre sur le développement et sur les phénomènes de nutrition en général. (C. R. A. S., 1858.)

BERTHELOT (Daniel) et GAUDECHON (Henri).

- 8 a) Effets chimiques des rayons ultra-violets sur les corps gazeux. Action de polymérisation. (C. R. A. S., 9 mai 1910.)

(1) S. M. : *Semaine Médicale*.

(2) C. R. A. S. : Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences.

(3) C. R. S. B. : Comptes rendus hebdomadaires des séances et mémoires de la Société de biologie.

- 9 b) Effets chimiques des rayons ultra-violet sur les corps gazeux. Actions oxydantes. Combustion du cyanogène et de l'ammoniaque. Synthèse de l'acide formique. (C. R. A. S., 23 mai 1910.)
- 10 c) Effets oxydants des rayons ultra-violet sur les corps gazeux. Peroxydation des composés oxygénés de l'azote et du soufre. (C. R. A. S., 6 juin 1910.)
- 11 d) Synthèse photochimique des hydrates de carbone aux dépens des éléments de l'anhydride carbonique et de l'eau, en l'absence de chlorophylle ; synthèse des composés quaternaires. (C. R. A. S., 20 juin 1910.)
- 12 e) Sur le mécanisme des réactions photochimiques et la formation des principes végétaux ; décomposition des solutions sucrées. (C. R. A. S., 1^{er} août 1910.)
- 13 f) Décomposition photochimique des alcools, des aldéhydes, des acides et des cétones. (C. R. A. S., 16 août 1910.)
- 14 BERRY et HENRI (V.).
Action des rayons ultra-violet sur certains hydrates de carbone. (C. R. S. B., 14 mai 1910.)
- 15 BERRY, HENRI (V.) et RANC.
Action des rayons ultra-violet sur certains hydrates de carbone. (C. R. S. B., 25 juillet 1910.)
- 16 BLOCH.
Sur la théorie de l'absorption dans les gaz. (C. R. A. S., 14 décembre 1908.)
- 17 BOHN.
L'évolution des pigments. (Coll. Scientia.)
- BORDIER.
- 18 a) Mécanisme de l'action de l'arc électrique sur les tissus dans la photothérapie. (A. E. M. (1), 1902, X, p. 65-70.)
- 19 b) Détermination du pouvoir diffusif (par réflexion) des différents corps et de la peau en particulier pour les rayons ultra-violet. (A. E. M., 10 janvier 1909.)
- 20 c) Quantitométrie des rayons ultra-violet. (*Lyon Médical*, 13 mars 1910.)
- 21 d) Absorption des rayons ultra-violet (translucidité et opacité

(1) A. E. M. : *Archives d'Electricité médicales expérimentales et cliniques*, Bergonié, Bordeaux.

ultra-violettes) par les substances transparentes et incolores à la lumière ordinaire. Applications aux liquides de l'organisme. Conséquences pratiques relatives à l'hygiène. (*Lyon Médical*, 12 juin 1910.)

- 22 e) Absorption des rayons ultra-violet par le verre ; transparence actinique des verres servant de « conserves » ; conséquences pratiques de cette étude pour la meilleure protection des yeux contre la reverbération solaire. (*Lyon Médical*, 23 octobre 1910.)

BORDIER et R. HORAND.

- 23 a) Action des rayons ultra-violet et des rayons X sur les bactéries examinées à l'ultramicroscope. (*Lyon Médical*, 13 mars 1910.)
- 24 b) Action sur les protozoaires des rayons X et ultra-violet. (*Lyon Médical*, 27 mars 1910.)
- 25 c) Action des rayons X et ultra-violet sur les trypanosomes. (*Lyon Médical*, 1^{er} mai 1910.)

- 26 BORDIER et NOGIER.

Recherches expérimentales sur la lampe à vapeur de mercure et en quartz (lampe de Kromayer). (A. E. M., 10 mai 1908.)

- 27 BORDIER, MOREL et Th. NOGIER.

Action des radiations ultra-violettes émises par la lampe de Kromayer sur le sang et l'oxyhémoglobine pure. (A. E. M., 25 janvier 1909.)

- 28 BOUCHARD.

Recherches sur la pellagre, 1862.

CERNOVODEANU et VICTOR HENRI.

- 29 a) Action de la lumière ultra-violette sur la toxine tétanique. (C. R. A. S., 2 août 1909.)
- 30 b) Etude de l'action des rayons ultra-violet sur les microbes. (C. R. A. S., 3 janvier 1910.)
- 31 c) Comparaison des actions photochimique et abiotique des rayons ultra-violet. (C. R. A. S., 28 février 1910.)
- 32 d) Action des rayons ultra-violet sur les microorganismes et sur différentes cellules. (C. R. A. S., 14 mars 1910.)

- 33 CHARCOT.

L'action stimulante de la lumière est due aux rayons chimiques. (C. R. S. B., 1858.)

COURMONT (J.).

- 34 a) Les rayons ultra-violet. Leur pouvoir bactéricide. Application à la stérilisation des liquides et notamment de l'eau. (*Revue d'Hygiène et de Police sanitaire*, 6 juin 1910.)
- 35 b) Les rayons ultra-violet. Stérilisation de l'eau potable par la lampe en quartz à vapeur de mercure. (*Revue Scientifique* (revue rose), 24 septembre 1910.)

COURMONT (J.) et NOGIER (Th.).

- 36 a) Sur la stérilisation de l'eau potable au moyen de la lampe en quartz à vapeur de mercure. (C. R. A. S., 22 février 1909.)
- 37 b) Action de la lampe en quartz à vapeur de mercure sur la toxine tétanique. (C. R. A. S., 8 mars 1909.)
- 38 c) Sur la faible pénétration des rayons ultra-violet à travers les liquides contenant des substances colloïdes. (C. R. A. S., 2 août 1909.)
- 39 d) Les rayons ultra-violet. Leur application à la médecine, à l'hygiène et à l'industrie, notamment à la stérilisation de l'eau. (*Le Monde Médical*, 15 septembre 1909.)
- 40 c) Appareil pour la stérilisation des eaux destinées à l'alimentation. (Hygiène générale et appliquée, janvier 1910.)

COURMONT (J.), NOGIER (Th.) et ROCHAIX (A.).

- 41 a) Effets au point de vue chimique (ozone, etc.) de l'immersion dans l'eau de la lampe en quartz à vapeur de mercure. (C. R. A. S., 12 juillet 1909.)
- 42 b) L'eau stérilisée par les rayons ultra-violet contient-elle de l'eau oxygénée. Pouvoir stérilisant de l'eau oxygénée. (C. R. A. S., 30 mai 1910.)
- 43 c) Nouvelle méthode pour l'étude de la transparence ultra-violet. (A. E. M., 10 août 1910.)

44 D'ARSONVAL et CHARRIN.

Influence des agents atmosphériques, en particulier de la lumière et du froid, sur le bacille pyocyanique. (S. M., 1894.)

45 DEFONTAINE (du Creusot).

Coup de soleil électrique. (S. M., 1888.)

46 DORNIC et DAIRE.

Contribution à l'étude de la stérilisation par les rayons ultra-violet. Application à l'industrie beurrière.

DUBOIS (R.).

47 a) Action de la lumière sur les animaux. (Physiologie biol. de d'Arsonval, t. II, 272-294.)

48 b) Les étatérides lumineux. (Paris, 1886.)

49 EDWARDS (W.).

Les agents physiques et la vie, 1825.

FINSEN.

50 a) Lyset som Incitament. (Hospitalotidende, Copenhague, n° 8, 1895.)

51 b) La photothérapie.

GAUTIER (Cl.) et NOGIER (Th.).

52 a) Procédés de différenciation de l'indol et du scatol et de caractérisation de ces corps dans leurs mélanges. (C. R. S. B., 19 décembre 1908.)

53 b) Action des rayons ultra-violetes sur le chromogène d'origine skatolique et la couleur qui en dérive. (C. R. S. B., 28 mai 1910.)

54 c) Action des rayons ultra-violetes sur les produits colorés que donnent, avec le réactif iodo-ioduré, l'amidon et le glyco-gène. (C. R. S. B., 16 juillet 1910.)

55 GRAMMONT (de) et WATTEVILLE (de).

Sur le spectre ultra-violet du silicium. (C. R. A. S., 27 juillet 1908.)

56 HAMMER.

Ueber den Einfluss des Lichtes auf die Haut, Stuttgart, 1891.

57 HASSELBACH.

L'effet de la lumière sur les matières colorantes du sang et sur les corpuscules rouges. (A. E. M., 10 mars 1910.)

58 HENRI (V.) et STODEL.

Stérilisation du lait par les rayons ultra-violetes. (C. R. A. S., 1^{er} mars 1909.)

59 HENRI (V.) et SCHNITZLER.

Action des rayons ultra-violetes sur la fermentation acétique du vin. (C. R. A. S., 26 juillet 1909.)

HENRI (V.), HELBRONNER et RECKLINGHAUSEN.

60 a) Stérilisation par les lampes à vapeur de mercure en quartz émettant des rayons ultra-violetes. (*Electricien*, n° 944, 1910.)

- 61 b) Stérilisation des grandes quantités d'eau par les rayons ultra-violet. (C. R. A. S., 11 avril 1910.)
- 62 c) Nouvelles recherches sur la stérilisation des grandes quantités d'eau par les rayons ultra-violet. (C. R. A. S., 17 octobre 1910.)
- 63 IACOBÆUS.
Traitement de l'angine de poitrine par les bains lumineux de Finsen. (A. E. M., 10 novembre 1907.)
- 64 JOACHIM.
Traitement de l'alopecie par les rayons ultra-violet. (A. E. M., 10 janvier 1910.)
- KERNBAUM (Miroslaw).
- 65 a) Sur la décomposition de l'eau par les rayons $\frac{1}{2}$ du radium et par les rayons ultra-violet. (A. E. M., 10 janvier 1910, et *Le Radium*, août 1909, n° 8.)
- 66 b) Décomposition de l'eau par les rayons ultra-violet. (C. R. A. S., 26 juillet 1909.)
- 67 KORANY.
Action de la lumière sur les animaux. (Centralbl. f. Physiol., vol. VI.)
- LEREDDE et PAUTRIER.
- 68 a) Photothérapie et photobiologie. (C. Naud, Paris.)
- 69 b) Influence des radiations de différentes longueurs d'onde sur le développement des batraciens. (C. R. S. B., n° 41, 1901.)
- 70 LESURE.
Action des rayons ultra-violet sur certaines solutions employées en pharmacie. (*Journal de Pharmacie et de Chimie*, 16 juin 1910.)
- 71 LOMBARD (M.).
Sur les effets chimiques et biologiques des rayons ultra-violet. (C. R. A. S., 24 janvier 1910.)
- 72 LYMAN.
Les radiations de courte longueur d'onde. (*La Nature*, 25 septembre 1909.)
- 73 MAKŁAKOW.
Troubles cutanés et oculaires dus à la lumière électrique. (S. M., 1889.)

74 MAQUENNE et DEMOUSSY.

Influence des rayons ultra-violetes sur la végétation des plantes vertes. (C. R. A. S., 8 novembre 1909.)

75 MAURAIN et WARCOLLIER.

Action des rayons ultra-violetes sur le cidre en fermentation. (C. R. A. S., 12 juillet 1909.)

76 MIQUEL.

Les expériences du Dr Miquel sur la stérilisation de l'eau par l'appareil Th. Nogier à radiations ultra-violettes. (*Le Monde Médical*, 5 mars 1910.)

NOGIER (Th.).

77 a) La lumière et la vie. (Baillière et fils, Paris, 1904.)

78 b) Action bactéricide des lampes en quartz à vapeur de mercure. Leur application à la stérilisation des eaux potables. (A. E. M., 10 février 1910.)

79 c) La production artificielle des rayons actiniques et les indications générales de leur emploi en thérapeutique. (A. E. M., 10 mars 1910.)

80 d) Les rayons ultra-violetes et leur application industrielle à la stérilisation des eaux et autres liquides. (*La Technique Moderne*, 6 juin 1910.)

81 e) Action biologique de la lampe en quartz de Kromayer. (A. E. M., 10 juin 1910.)

82 f) Mesures spectrographiques de la transparence ultra-violette de diverses substances. (A. E. M., 10 août 1910.)

83 NOGIER (Th.) et THÉVENOT.

La lumière de la lampe de Cooper-Hewit possède-t-elle un pouvoir bactéricide ? (A. E. M., 10 septembre 1907.)

84 PLEASANTON.

The influence of the blue Ray of the sunlight, Philadelphia, 1877.

85 POEY.

Influence de la lumière violette sur la croissance de la vigne, des cochons, des taureaux. (C. R. A. S., t. 73, p. 1236.)

POUGNET.

86 a) Action des rayons ultra-violetes sur les plantes à coumarine et quelques autres plantes dont l'odeur provient de glucosides dédoublés. (C. R. A. S., 19 septembre 1910.)

- 87 *b)* Les rayons ultra-violet. (*La Pharmacie Française*, octobre 1910.)
- RAYBAUD (Laurent).
- 88 *a)* De l'influence des rayons ultra-violet sur le développement des moisissures. (C. R. A. S., 18 octobre 1909.)
- 89 *b)* De l'influence des radiations ultra-violettes sur le protoplasma. (C. R. S. B., 15 février 1910.)
- 90 *c)* Influence des radiations ultra-violettes sur la germination des graines. (C. R. A. S., 19 avril 1910.)
- 91 ROLLIER (de Leysin).
- La cure solaire de la tuberculose chirurgicale. (A. E. M., 10 avril 1910.)
- 92 RUDOLF-STEINER.
- Etat actuel de la thérapie des maladies des yeux par les diverses radiations. (A. E. M., 10 janvier 1910.)
- 93 SCHANZ et STOCKHAUSEN.
- Action des rayons ultra-violet sur l'œil. (A. E. M., 10 janvier 1910.)
- 94 SCHRYVER.
- Sur la formation photochimique de la formaldéhyde dans les plantes vertes. (*Journal de Pharmacie et de Chimie*, 16 juillet 1910.)
- 95 TALARICO.
- De l'influence des rayons ultra-violet sur la digestibilité tryptique du lait. (C. R. S. B., 5 novembre 1910.)
- 96 TIAN.
- Sur l'action des rayons ultra-violet sur la gélatine. (C. R. A. S., 18 juillet 1910.)
- 97 TASSILLY et CAMBIER.
- Action abiotique des rayons ultra-violet d'origine chimique. (C. R. A. S., 25 juillet 1910.)
- URBAN, SCAL (Cl.) et FEIGE (A.).
- 98 *a)* Sur la stérilisation de l'eau par l'ultra-violet. (C. R. A. S., 28 février 1910.)
- 99 *b)* Stérilisation des grandes masses d'eau par l'ultra-violet. (C. R. A. S., 31 octobre 1910.)

- 100 VALLET (G.).
Stérilisation de grandes quantités d'eau au moyen des rayons
ultra-violets. (C. R. A. S., 25 avril 1910.)
- 101 WETTERER (de Mannheim Bade).
Quelques observations sur l'action de la nouvelle lampe de
quartz au mercure. (A. E. M., 10 mai 1907.)
- 102 WIDMARK.
Ueber den Einfluss des Lichtes auf die Haut Hygiea, Fest-
band, III, 1889.
- 103 WIDMER.
Traitement des troubles de la croissance des nouveau-nés par
la lumière solaire. (Schweiz Rundschau für med. in A. E. M.,
10 septembre 1910.)
- 104 YUNG.
Action de la lumière sur la nutrition animale. (*Archives de*
Zool. expériment., 1878, t. VII, 2.)
-

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
INTRODUCTION	3
 PREMIÈRE PARTIE. — <i>Étude physique de l'ultra-violet.</i>	
CHAPITRE PREMIER. — Généralités sur le spectre solaire .	5
CHAPITRE II. — Etude physique de l'ultra-violet	19
 DEUXIÈME PARTIE. — <i>Action des rayons ultra-violets sur les corps chimiques.</i>	
CHAPITRE PREMIER. — Action de l'ultra-violet sur les corps de la chimie minérale	59
CHAPITRE II. — Action de l'ultra-violet sur les divers corps de la chimie organique	76
CHAPITRE III. — Action des rayons violets sur les divers composés de la chimie biologique	104
 TROISIÈME PARTIE. — <i>Action sur les végétaux (bactéries, champignons, plantes vertes).</i>	
CHAPITRE PREMIER. — Action des rayons ultra-violets sur les bactéries	120
CHAPITRE II. — Action de l'ultra-violet sur les champignons inférieurs	142
CHAPITRE III. — Action de l'ultra-violet sur les plantes vertes	145
 QUATRIÈME PARTIE. — <i>Action de l'ultra-violet sur les animaux.</i>	
CHAPITRE PREMIER. — Action des rayons ultra-violets sur les animaux unicellulaires	158
CHAPITRE II. — Action de l'ultra-violet sur les animaux pluricellulaires	161
 CINQUIÈME PARTIE. — <i>Les applications de l'ultra-violet.</i>	
CHAPITRE PREMIER. — Applications de l'ultra-violet à la stérilisation	186
CHAPITRE II. — Applications à la thérapeutique de l'ultra-violet	210
CONCLUSIONS	245
BIBLIOGRAPHIE	249

